

## **STUDIENARBEIT**

### **Collembolenzönose in der Bergbaufolgelandschaft**

BEARBEITER

**BASTIAN KLONOWSKI; ANNETT RÖßLER**

MATRIKELNUMMER

**2309520; 2403335**

ARBEITSSTAND

**13.01.2010**

ABGEGEBEN AM

**13.01.2010**

# Inhaltsverzeichnis

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1 Einleitung .....</b>   | <b>6</b>  |
| <b>2 Material und Methoden .....</b>  | <b>7</b>  |
| 2.1 Untersuchungsgebiet .....   | 7         |
| 2.2 Klima .....   | 7         |
| 2.3 Probenahmedesign .....  | 8         |
| 2.4 Vegetationsaufnahme und Zeigerwerte nach Ellenberg .....                  | 8         |
| 2.5 Extraktion der Collembolen nach MACFAYDEN, Präparation & Bestimmung ..... | 9         |
| 2.6 Statistik .....   | 10        |
| 2.6.1 Dominanz nach ENGELMANN .....   | 10        |
| 2.6.2 Varianzanalyse .....  | 10        |
| 2.6.3 Korrelations- und Kontingenzanalyse .....                               | 10        |
| 2.7 Bodenanalytik .....   | 11        |
| 2.7.1 PH-Wert .....   | 11        |
| 2.7.2 Maximale Wasserhaltekapazität .....                                     | 12        |
| 2.7.3 Humusgehalt .....   | 13        |
| 2.7.4 Leitfähigkeit .....   | 14        |
| 2.7.5 UV–spektrometrische Analytik verschiedener Nährsalze .....              | 15        |
| 2.7.5.1 Allgemeine Angaben .....  | 15        |
| 2.7.5.2 Ammoniumstickstoff .....  | 15        |
| 2.7.5.3 Nitratstickstoff .....  | 16        |
| 2.7.5.4 Phosphor .....  | 17        |
| 2.7.6 Kalkgehalt .....  | 18        |
| 2.7.7 Wassergehalt und Trockensubstanz .....                                  | 18        |
| <b>3 Ergebnisse .....</b>   | <b>20</b> |
| 3.1 Bodenparameter .....  | 20        |
| 3.1.1 pH-Wert und Kalkgehalt .....  | 20        |
| 3.1.2 Wassergehalt .....  | 22        |
| 3.1.3 Maximale Wasserhaltekapazität .....                                     | 24        |
| 3.1.4 Humusgehalt .....   | 25        |
| 3.1.5 Nitratgehalt .....  | 26        |
| 3.1.6 Ammoniumgehalt .....  | 27        |

|  |           |
|--|-----------|
| 3.1.7 Phosphorgehalt .....   | 27        |
| 3.1.8 Leitfähigkeit .....  | 28        |
| 3.2 Ergebnisse des Vegetationsprotokolls anhand der Zeigerwerten von ELLENBERG ... | 29        |
| 3.2.1 Vorbetrachtungen .....   | 29        |
| 3.2.2 Reaktionszahl .....  | 29        |
| 3.2.3 Feuchtezahl .....  | 30        |
| 3.2.4 Temperaturzahl .....   | 30        |
| 3.2.5 Stickstoffzahl/ Nährstoffzahl .....  | 30        |
| 3.2.6 Salzzahl .....   | 31        |
| 3.3 Vorkommende Collembolenarten .....   | 32        |
| 3.3.1 <i>Dicyrtoma fusca</i> .....   | 32        |
| 3.3.2 <i>Entomobrya juv.</i> .....   | 33        |
| 3.3.3 <i>Entomobrya multifasciata</i> .....  | 33        |
| 3.3.4 <i>Entomobrya nivalis</i> .....  | 34        |
| 3.3.5 <i>Folsomia fimetaria</i> .....  | 35        |
| 3.3.6 <i>Isotomidae juv.</i> .....   | 35        |
| 3.3.7 <i>Isotoma viridis</i> Gruppe .....  | 36        |
| 3.3.8 <i>Lepidocyrtus lanuginosus</i> .....  | 37        |
| 3.3.9 <i>Mesaphorura macrochaeta</i> .....   | 37        |
| 3.3.10 <i>Oncopodura spec.</i> .....   | 38        |
| 3.3.11 <i>Parisetoma notabilis</i> .....   | 39        |
| 3.3.12 <i>Poduridae juv.</i> .....   | 39        |
| 3.3.13 <i>Proisetoma minuta</i> .....  | 40        |
| 3.3.14 <i>Protaphorura juv.</i> .....  | 41        |
| 3.3.15 <i>Pseudachorutes spec.</i> .....   | 41        |
| 3.3.16 <i>Sminthurinus aureus</i> .....  | 42        |
| 3.3.17 <i>Sminthurus viridis</i> .....   | 43        |
| 3.3.18 <i>Sphaeridia pumilis</i> .....   | 43        |
| 3.3.19 <i>Xenylla maritima</i> .....   | 44        |
| <b>4 Diskussion .....</b>  | <b>45</b> |
| 4.1 Methoden .....   | 45        |
| 4.2 Bodenparameter .....   | 46        |
| 4.2.1 pH-Wert und Kalkgehalt .....   | 46        |
| 4.2.2 Wassergehalt .....   | 47        |

|   |    |
|---|----|
| 4.2.3 maximale Wasserhaltekapazität .....                         | 48 |
| 4.2.4 Humusgehalt .....   | 48 |
| 4.2.5 Nitratgehalt .....  | 49 |
| 4.2.6 Ammoniumgehalt .....  | 49 |
| 4.2.7 Phosphorgehalt .....  | 49 |
| 4.2.8 Leitfähigkeit .....   | 50 |
| 4.3 Zeigerwerte .....   | 50 |
| 4.4 Collembolen .....   | 54 |
| 4.4.1 Vorkommende Arten .....                                     | 54 |
| 4.4.1.1 <i>Dicyrtoma fusca</i> .....                              | 54 |
| 4.4.1.2 <i>Entomobrya</i> juv. ....                               | 55 |
| 4.4.1.3 <i>Entomobrya multifasciata</i> .....                     | 55 |
| 4.4.1.4 <i>Entomobrya nivalis</i> .....                           | 56 |
| 4.4.1.5 <i>Folsomia fimetaria</i> .....                           | 57 |
| 4.4.1.6 <i>Isotomidae</i> juv. ....                               | 58 |
| 4.4.1.7 <i>Isotoma viridis</i> Gruppe .....                       | 58 |
| 4.4.1.8 <i>Lepidocyrtus lanuginosus</i> .....                     | 60 |
| 4.4.1.9 <i>Mesaphorura macrochaeta</i> .....                      | 60 |
| 4.4.1.10 <i>Oncopodura spec.</i> .....                            | 61 |
| 4.4.1.11 <i>Parisotoma notabilis</i> .....                        | 61 |
| 4.4.1.12 <i>Poduridae</i> juv. ....                               | 63 |
| 4.4.1.13 <i>Proisotoma minuta</i> .....                           | 63 |
| 4.4.1.14 <i>Protaphorura</i> juv. ....                            | 65 |
| 4.4.1.15 <i>Pseudachorutes spec.</i> .....                        | 65 |
| 4.4.1.16 <i>Sminthurinus aureus</i> .....                         | 65 |
| 4.4.1.17 <i>Sminthurus viridis</i> .....                          | 66 |
| 4.4.1.18 <i>Sphaeridia pumilis</i> .....                          | 66 |
| 4.4.1.19 <i>Xenylla maritima</i> .....                            | 67 |
| 4.4.2 Dominanz nach ENGELMANN .....                               | 67 |
| 4.4.3 Statistiken mit SPSS .....                                  | 73 |
| 4.4.3.1 Auswertungen zu den Parametern des Gesamttransektes ..... | 73 |
| 4.4.3.1.1 pH-Wert .....   | 73 |
| 4.4.3.1.2 Leitfähigkeit .....                                     | 75 |
| 4.4.3.1.3 Maximale Wasserhaltekapazität .....                     | 76 |

|  |            |
|--|------------|
| 4.4.3.1.4 Humusgehalt .....                      | 77         |
| 4.4.3.1.5 Ammoniumgehalt .....                   | 78         |
| 4.4.3.1.6 Phosphorgehalt .....                   | 78         |
| 4.4.3.2 Zusammenleben der Arten .....            | 79         |
| 4.4.4 Veränderung der Arten gegenüber 2003 ..... | 80         |
| 4.5 Schlussfolgerungen .....                     | 91         |
| <b>5 Zusammenfassung .....</b>                   | <b>92</b>  |
| <b>6 Quellen .....</b>                           | <b>93</b>  |
| <b>7 Anhang .....</b>                            | <b>96</b>  |
| 7.1 Steckbrief Collembolen .....                 | 96         |
| 7.2 Tabellen .....                               | 98         |
| <b>8 Tabellenindex .....</b>                     | <b>110</b> |
| <b>9 Abbildungsverzeichnis .....</b>             | <b>111</b> |

# **1 Einleitung**

Dieses Studienprojekt befasst sich mit der Entwicklung der Collembolengemeinschaft in der Bergbaufolgelandschaft im Zuge der Primärsukzession unter besonderer Berücksichtigung ausgewählter Bodenparameter.

Primärsukzession ist die Besiedlung von neuem Land durch sogenannte Pionierarten. Diese werden wiederum im Laufe der Entwicklung dieser neuen Landschaften durch andere Arten ersetzt und sterben nach und nach aus. Erstbesiedler können nur Arten sein, die auch in der Lage sind, neue Gebiete zu erreichen. Außerdem müssen sie mit den Umweltbedingungen und den vorhandenen Ressourcen vor Ort zurechtkommen sowie sich gegen konkurrierende Arten und Fraßfeinde durchsetzen können [BEGON 1991]. Collembolen können solche Pionierarten sein, unter denen es Spezialisten gibt, welche die Fähigkeit besitzen, den extremen Bedingungen in ehemaligen Tagebaugebieten zu trotzen.

Für eine Beobachtung der voranschreitenden Sukzession auf Kippenflächen eignen sich Springschwänze besonders als Bioindikatoren, z.B. zur Bewertung der Bodenverhältnisse in der Bergbaufolgelandschaft. Sie erfüllen verschiedene Kriterien, die es ermöglichen, sie auch in kürzeren Zeiträumen zu beobachten. Sie bringen beispielsweise viele Generationen pro Jahr hervor und kommen auf eine hohe Individuendichte. Collembolen reagieren durch Wanderungsbewegungen auf sich ändernde Bodenparameter. Diese Lücke kann innerhalb der Collembolenzönose durch eine andere Art ausgefüllt werden. Die Arten unterscheiden sich bezüglich ihrer aufgenommenen Nahrung, den verschiedenen Lebensformtypen und der ungleichen Reaktion auf Gifte im Boden. Die meisten Arten bilden keine widerstandsfähigen Dauerstadien, um für sie ungünstige Umweltbedingungen zu überstehen [EHRNSBERGER 1993].

Im Rahmen dieser Arbeit sollen folgende Thesen geklärt werden:

- I Die Collembolenzönose wird maßgeblich von der Primärsukzession der Pflanzen beeinflusst.
- II Die Collembolenzönose ist im Kippenbereich und im gewachsenen Land verschieden.
- III Jede Collembolenart besitzt unterschiedliche Toleranzbereiche bezüglich der Bodenparameter.

## 2 Material und Methoden

### 2.1 Untersuchungsgebiet

Die Probenahmestelle befindet sich im ehemaligen Tagebaugebiet Schlabendorf Süd (Abb. 1), eingegrenzt von den Orten Schlabendorf, Zinnitz und Drehna. Zwischen 1975 und 1991 wurden dort insgesamt rund 171 Mio. Tonnen Braunkohle gefördert. Auf dem insgesamt 3269 ha großen Gebiet befanden sich vor der Abbaggerung die Dörfer Gliechow, Pademagk, Stiebsdorf, Presenchen und Wanninchen.

Im ganzen Abbaubebaut der Schlabendorfer Felder wurde an einigen Stellen Kraftwerksasche bei der Sanierung eingearbeitet [BRAUNKOHLENAUSSCHUSS 1993].



Abb. 1: ehemaliges Tagebaugebiet von Schlabendorf mit Beprobungsstandort (Google earth 2006)

### 2.2 Klima

Zur Einordnung der klimatischen Verhältnisse im Untersuchungsgebiet wurden die Daten der nächstgelegenen meteorologischen Station Doberlug-Kirchhain herangezogen. Die erste Probenahme erfolgte am 12.06.2007; die geringste Tagestemperatur betrug 19,1 °C und die höchste 19,5 °C. Damit liegen sie nur geringfügig über der Monatsdurchschnittstemperatur von 18 °C. Niederschlagsereignisse waren zu diesem Zeitpunkt und in der Woche zuvor nicht vorhanden. An diesem Tag herrschten eine durchschnittliche atmosphärische Feuchte von 60 % und eine Sonnenscheindauer von 8,53 h. Der Wind wehte mit etwa 6,5 km/h. Am

27.10.2007 fand die zweite Probenahme bei einer minimalen Tagestemperatur von 8,8 °C und einer maximalen Tagestemperatur von 9,2 °C statt. 10,8 °C betrug die Monatstemperatur im Mittel. An diesem Tag hatte es 0,2 l/m<sup>2</sup> geregnet und in den letzten 7 Tagen davor jeweils 4,1 l/m<sup>2</sup> und 0,2 l/m<sup>2</sup>. 97 % betrug die durchschnittliche atmosphärische Feuchte, wobei die Sonne an diesem Tag nicht schien und der Wind mit 4,4 km/h blies [VOIGT 2008].

## 2.3 Probenahmedesign

Bezüglich der Aufgabenstellung, die Collembolenzönose im Übergangsbereich zwischen Kippe und gewachsenem Land zu untersuchen, wurde in diesem Grenzbereich ein 30 m langer Transekt gelegt (Abb. 2), welcher den gesamten Bereich abdecken sollte. Im Abstand von jeweils 50 cm wurden links des Maßbandes die Proben für die Nassuntersuchung der Bodenparameter und rechts die Proben für die Collembolen und die Trockenuntersuchung der Bodenanalytik, entnommen. Bei der Bodenuntersuchung stellte sich heraus, dass der Kippenbereich noch nicht erreicht war, weshalb kam ein weiterer Transekt der gleichen Länge hinzukam. Insgesamt wurden jeweils 122 Proben für die Nassuntersuchung entnommen sowie die gleiche Anzahl für die Extraktion der Springschwänze und die Bestimmung der Bodenparameter des trockenen Bodens.

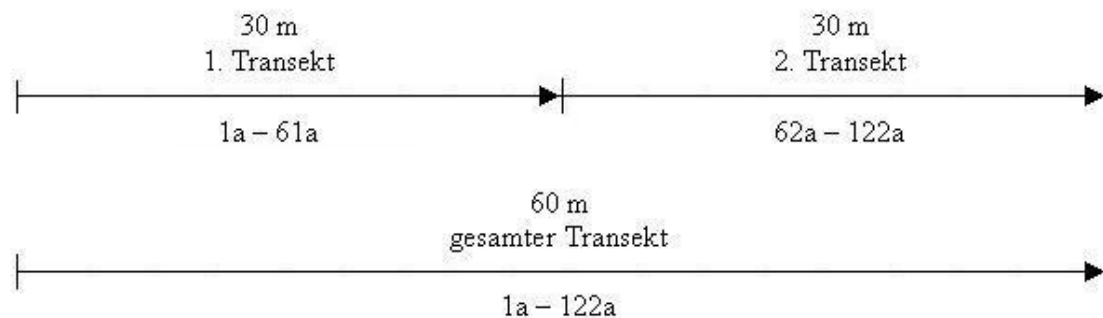


Abb. 2: Probenahmedesign

## 2.4 Vegetationsaufnahme und Zeigerwerte nach ELLENBERG

Begleitend zur Entnahme der Bodenproben fand eine Erfassung der vorherrschenden Vegetation statt. Im näheren Umfeld der Probenpunkte, d.h. alle 50 cm, wurden dazu die vorkommenden Pflanzen und wichtigen Strukturmerkmale entlang des Transektes, wie Totholz, Streu oder Aufschüttungen, aufgenommen. Die Auflistung der Pflanzenarten diente anschließend einer Vorbetrachtung der Bodenverhältnisse mit Hilfe von Ellenbergs Zeigerwerten.

Zeigerwerte nach ELLENBERG geben eine erste Übersicht bezüglich des ökologischen Verhaltens der vorhandenen Pflanzen unter der Voraussetzung ihrer vorherigen Etablierung gegenüber der Konkurrenz. Diese Werte ersetzen jedoch keine Bestimmung der Bodenparameter. Da jede Pflanzenart bestimmte Standortansprüche besitzt, kann man jeder Pflanze einen spezifischen Zeigerwert zuordnen [ELLENBERG 1992]. Um einen Vergleich



zwischen Boden und Vegetation zu erreichen, interessieren hier ausschließlich die Feuchte-, Reaktions-, Temperatur-, Stickstoff- und Salzzahl.

## **2.5 Extraktion der Collembolen nach MACFAYDEN, Präparation & Bestimmung**

Die Proben wurden für die Extraktion der Collembolen am 12.06.2007 für den Transektabschnitt 1a-61a und am 27.10.2007 für den Bereich 62a-122a dem Boden entnommen. Jeder Transekt umfasste 30 m mit einem Probenabstand von 50 cm entlang des zu vermutenden Übergangsbereiches zwischen Kippe und gewachsenem Land. Die Entnahme des Probenmaterials, welches während des Transportes kühl in PVC-Behältnissen lagerte, erfolgte mit Hilfe eines Stechzylinders. Für die weiteren Untersuchungen waren die obersten 5 cm des Bodens von Interesse.

Die eigentliche Extraktion der Springschwänze erfolgte schließlich in einem Gerät, welches nach dem Prinzip von MACFAYDEN (1961) funktioniert. Mit der Streuauflage nach unten zeigend kamen die Bodenabschnitte in kleine Plastikeimer, welche durch eingelegte Siebe durchlässig für Bodenorganismen blieben. Das Material wurde bewusst „verkehrt herum“ abgelegt, da die Poren im Boden mit zunehmender Tiefe kleiner werden und den Organismen das Verlassen des Bodenzylinders so erleichtert wird. Aus diesem Grunde sollte die entnommene Probe auch möglichst ungestört sein, damit Porenräume nicht verstopft werden. Unterhalb der Eimer angebrachte Plastikflaschen mit Konservierungsmittel sorgten dafür, dass von oben Herabfallendes aufgefangen wurde. Von oben eingeleitete warme Luft führte dazu, dass die Proben nach und nach austrockneten. Gleichzeitig wurde von unten durch ein Kühlgerät feuchte Kaltluft mit ca. 12°C eingeleitet. Die entstandenen Temperatur- und Feuchtegradienten veranlassten die Collembolen, aktiv das Bodenmaterial zu verlassen. Dies konnte aber nur gewährleistet werden, wenn die Temperaturerhöhung schrittweise stattfand [MACFAYDEN 1961]. Die Steigerung der Temperatur erfolgte innerhalb von 7 Tagen etappenweise von etwa 20-25 °C auf 40 °C .

Nach der Extraktion konnten die Collembolen aus der Konservierungslösung herausgelesen werden. Für eine Fixierung auf Objektträgern mussten die Tiere mit Hilfe von Milchsäure gebleicht werden. Dies war wichtig, um entscheidende Bestimmungsmerkmale, wie eine charakteristische Behaarung, sichtbar zu machen. Vor dem Bleichen wurde noch die ursprüngliche Farbe notiert. Die je nach Art teilweise oder komplett durchsichtig gewordenen Springschwänze wurden mit einer Fixierlösung, u.a. bestehend aus Gummiarabikum und Chloralhydrat, eingebettet. Von jedem Exemplar wurden Fotos angefertigt und nach der Sichtung erfolgte eine Einteilung in Gruppen eingeteilt. Ferner wurden ausgewählte Bilder zusammengestellt und an einen Experten für die Bestimmung von Collembolen geschickt. Aufgrund der Tatsache, dass wichtige Bestimmungsmerkmale bei Springschwänzen sehr schwer und erst nach jahrelanger Erfahrung eindeutig zu erfassen sind, gibt es deutschlandweit nur wenige Experten, die dazu in der Lage sind. Die Bestimmung dieser Exemplare konnte dank der Hilfe von Dr. Hans-Jürgen Schulz vom Senckenberg Museum für Naturkunde in Görlitz erfolgen.

## 2.6 Statistik

### 2.6.1 Dominanz nach ENGELMANN

Innerhalb einer Biozönose sind die verschiedenen Arten unterschiedlich häufig vertreten. Die relative Häufigkeit innerhalb der Gemeinschaft bezeichnet man als ihre Dominanz in der Reihenfolge von der am häufigsten auftretenden Art zur seltensten. Für die Beschreibung der Dominanz innerhalb der Collembolenzönose wurde eine Skala nach ENGELMANN (1978) verwendet, der eine logarithmische Skala und Funktion zugrunde liegt. Alle Intervallschritte sind gleich groß angelegt und betragen jeweils 85 % der untersuchten Exemplare. Durch die Quantifizierung ist eine bessere Vergleichbarkeit der Daten möglich. Die folgenden Klasseneinteilungen werden genutzt [KRAWCZYNSKI 2006]:

|               |                |
|---------------|----------------|
| - eudominant  | 40,0 – 100,0 % |
| - dominant    | 12,5 – 39,9 %  |
| - subdominant | 4,0 – 12,4 %   |
| - rezedent    | 1,3 – 3,9 %    |
| - subrezedent | < 1,3 %        |

### 2.6.2 Varianzanalyse

Das Verfahren der einfaktoriellen Varianzanalyse untersucht den Zusammenhang zwischen einer unabhängigen und mehreren abhängigen Variablen, wobei die unabhängige Variable die Collembolenart ist, deren Daten nominal skaliert vorliegen müssen. Die abhängigen Variablen, in diesem Fall ausgewählte Bodenparameter, sollten metrisch skaliert sein [BACKHAUS 1994].

Mit Hilfe dieses Verfahrens soll geklärt werden, inwieweit sich die einzelnen Collembolenarten mit charakteristischen Bodenparametern in Verbindung bringen lassen.

### 2.6.3 Korrelations- und Kontingenzanalyse

Kann zwischen zwei Variablen vor einer statistischen Untersuchung keine Tendenz eines Zusammenhanges ausgemacht werden, eignet sich dafür das Prinzip der Korrelationsanalyse. Mit deren Hilfe lässt sich ein Maßstab bestimmen, ob und in welcher Größenordnung eine Übereinstimmung zwischen Merkmalen vorhanden ist [BACKHAUS 1994]. Die anschließend durchzuführende Kontingenzanalyse greift bestehende Zusammenhänge erneut auf. Der Kontingenzkoeffizient von Pearson gibt nachfolgend die Stärke dieser Beziehung wieder [SACHS 1972].

Anhand der Korrelations- und Kontingenzanalyse soll gezeigt werden, welche Arten bevorzugt nebeneinander vorkommen und welche sich gänzlich ausschließen.

Die statistischen Verfahren unter 2.6.2 und 2.6.3 wurden mit SPSS 18.0 aufgeführt.

## 2.7 Bodenanalytik

### 2.7.1 pH-Wert

Der pH-Wert gibt Auskunft über Säure- und Baseneigenschaften des Bodens und definiert sich als negativer dekadischer Logarithmus der Wasserstoffionenkonzentration, genauer gesagt als deren Aktivität in der Bodenlösung [SEIDL-LAMPA 2006]. Da Zersetzung und Verwitterung in starkem Maße vom pH-Wert abhängig sind, wird dieser häufig für die Darstellung von Verfügbarkeiten bestimmter Elemente genutzt. Die Pflanzenverfügbarkeit von Nitrat oder Phosphor verringert sich bei niedrigen Werten. Hingegen steigt die Verfügbarkeit von Mangan, Kupfer, Bor, Aluminium, Arsen und anderen Metallen bei gleichzeitig sinkenden pH-Werten. Pflanzen wiederum reagieren selten direkt auf den pH-Wert, sondern vielmehr auf die Verfügbarkeiten der oben genannten Elemente im Boden [SCHLICHTING 1995]. Generell wird der pH-Wert einer Bodenlösung in Suspensionen ermittelt, da es praktisch unmöglich ist, diese aus dem Boden zu entnehmen [SCHLICHTING 1995].

Eine Bestimmung kann sowohl kolorimetrisch mit Hilfe von geeigneten Indikatoren als auch potentiometrisch erfolgen. Letzteres Messprinzip läuft über eine Messkette bestehend aus einer Glaselektrode, der pH-Elektrode und einer Bezugslektrode, der Referenzelektrode, ab. Bestimmt wird damit die Spannungsdifferenz bei hochfrequenten Frequenzen und es ergibt sich daraus die direkte Funktion des pH-Wertes einer jeden Messlösung:  $f(\text{pH}) = E_{\text{Glaselektrode}} - E_{\text{Bezugslektrode}}$ . Neben den Zweistabmessketten gibt es des Weiteren noch Einstabmessketten, wobei die pH-Elektrode und die Referenzelektrode sich in ein System einfügen. Die Potentialbildung ergibt sich hier durch das Aufladen der äußeren Quellschicht der elektrisch leitfähigen Glasmembran, welches durch den jeweiligen pH-Wert der Lösung bedingt ist [SEIDL-LAMPA 2006].

Um eine korrekte Messung des pH-Wertes zu gewährleisten, bedarf es zuvor einer ordnungsgemäßen Eichung der Elektrode. Da sowohl eine Bestimmung mit Calciumchlorid als auch mit destilliertem Wasser erfolgen soll, muss von beiden eine sogenannte Nullprobe ermittelt und notiert werden. Sie dienen der Referenz für die nachfolgenden eigentlichen Messungen. Die Eichung ist notwendig, um über die Einstellung der Steilheit und der Asymmetrie eine Gerade zu konstruieren, die die sachgemäße Bestimmung des pH-Wertes in einer nicht bekannten Lösung ermöglicht. Mit Hilfe der NERNST'schen Gleichung kann die Steilheit mit einem Potential von 59 mV/pH ermittelt werden. Diese ist gleich Null bei dem pH-Wert von 7, da sich die Potentiale außer- und innerhalb der Glasmembran ausgleichen. Daher stellt man mit dem Puffer pH = 7 den Nullpunkt ein. Über die Messung des zweiten Puffers wird sodann die Asymmetrie ermittelt, sprich die Abweichung der theoretischen Nernst-Steilheit von 59 mV/pH vom eigentlich ermittelten Potential [SEIDL-LAMPA 2006].

Dennoch kann es trotz der sachgemäßen Anwendung des Gerätes auf Grund des Alters der Elektrode zu großen Abweichungen vom tatsächlichen Wert kommen, ebenso wie durch eine falsche Handhabung des Messfühlers. Eine fehlerhafte Benutzung führt zur Unbrauchbarkeit des Gerätes. Des Weiteren beeinflusst die Temperatur den pH-Wert maßgeblich. Daher ist es erforderlich, während der laufenden Messung die Temperatur möglichst konstant zu halten und deren Verlauf während der Messwertaufnahme zu dokumentieren [SEIDL-LAMPA 2006]. Die gemessenen Werte stimmen nicht immer mit dem pH-Wert der Bodenlösung überein, da

u. a. kalkhaltige Bodenproben auf die Aktivität von  $\text{Ca}^{2+}$ -Ionen und auch den Partialdruck von  $\text{CO}_2$ , d.h. auch in Abhängigkeit von der Luft im Labor, reagieren [SCHLICHTING 1995].

Nach der Eichung des Gerätes kann nun die eigentliche Messung folgen. Zuvor sollte bereits der zu untersuchende Boden vorbereitet werden. Dieser wird homogenisiert, auf eine Korngröße von 2 mm gesiebt und 10 g davon in 100 ml-PE-Flaschen eingewogen. Anschließend füllt man in eine davon 25 ml 0,01 molare Calciumchloridlösung und in die zweite 25 ml destilliertes Wasser. Von jeder Bodenprobe erfolgt demnach eine Doppelbestimmung des pH-Wertes, d.h., je ein Ergebnis mit destilliertem Wasser als Extraktionslösung und eines mit  $\text{CaCl}_2$ . Alle vorbereiteten Flaschen werden verschlossen, in einem Überkopfschüttler fixiert und darin 5 Minuten rotierend belassen. Anschließend muss jede Flasche zur Absetzung der Bodenpartikel etwa eine Stunde stehen. Für die Messung wird der Inhalt der Flasche in ein Becherglas gegossen. Zu Beginn und nach jeder Messung wird die Elektrode mit der jeweils verwendeten Extraktionslösung gereinigt. Das Diaphragma der Elektrode wird nun gut in das Becherglas eingetaucht. Nach einiger Zeit stellt sich dann ein konstanter Wert ein; der gemessene pH-Wert wird auf zwei Dezimalen genau ausgegeben. Die Elektrode wird jetzt gereinigt und es kann eine weitere Messung erfolgen.

### 2.7.2 Maximale Wasserhaltekapazität

Die maximale Wasserhaltekapazität gibt an, in welchem Maße ein Boden in der Lage ist, eine bestimmte Wassermenge gegen die Schwerkraft zu halten, einschließlich des Wassers das in den Bodenporen durch kapillare Kräfte gehalten wird. Welchen Wert die Wasserhaltekapazität annimmt, hängt in erster Linie vom Durchmesser der Poren und dadurch auch von der Korngröße ab. Je feinkörniger das Material ist, umso größer kann die aufgenommene Wassermenge sein [SEIDL-LAMPA 2006].

Für die Untersuchung der Wasserhaltekapazität sollte der Boden luftgetrocknet und auf 2 mm gesiebt sein. Anschließend ist das Trockengewicht ( $\text{TG}_F$ ) der beschrifteten Glasfritten zu bestimmen. Um deren Feuchtgewicht ( $\text{FG}_F$ ) zu ermitteln, wird die Fritte gespült, auf ein Fließpapier gestellt und anschließend außen abgetupft. Da jede Fritte abhängig von der Größe unterschiedlich viel Wasser aufnehmen kann, ist die Dokumentation dieser Werte unerlässlich [SEIDL-LAMPA 2006]. In die befeuchteten Gefäße werden nun 10 g Boden eingewogen und das jeweilige Gewicht ( $\text{FG}_{\text{total0}}$ ) notiert. Die mit Bodenmaterial gefüllte Fritte steht jetzt für etwa eine halbe Stunde in einer Schale mit Wasser. Es ist dabei darauf zu achten, dass kein Wasser von oben hineingelangt. Die Sättigung des Bodens soll ausschließlich von unten heraus erfolgen. Danach kommen alle Glasfritten auf ein wassergesättigtes Fließpapier und können dort eine halbe Stunde abtropfen. An den Fritten werden nun wieder alle Tropfen abgetupft und das Gewicht ( $\text{FG}_{\text{total1}}$ ) vermerkt. Die Fritten stehen anschließend nochmal für eine Viertelstunde in der Wasserschale, tropfen erneut 30 Minuten ab und werden gewogen ( $\text{FG}_{\text{total2}}$ ). Dieser Vorgang wird solange wiederholt, bis das Gewicht annähernd konstant bleibt ( $\text{FG}_{\text{totalx}} = \text{FG}_{\text{ges}}$ ). Alle Proben kommen daraufhin bei 105 °C für 12 Stunden in den Trockenschrank. Danach kann das Gewicht der Glasfritte und des Bodens nach der Trocknung ( $\text{TG}_{\text{ges}}$ ) bestimmt werden.

Für die eigentliche rechnerische Ermittlung der maximalen Wasserhaltekapazität  $\text{WK}_{\text{max}}$  wird vorher das Feuchtgewicht des Bodens ( $\text{FG}_B$ ) über  $\text{FG}_B = \text{FG}_{\text{ges}} - \text{FG}_F$  und das Trockengewicht

des Bodens ( $TG_B$ ) mittels  $TG_B = TG_{ges} - TG_F$  bestimmt.  $WK_{max}$  ergibt sich nun über  $WK_{max} = ((FG_B - TG_B)/TG_B) * 100$  in [%].

### 2.7.3 Humusgehalt

Unter der organischen Substanz eines Bodens versteht man jegliche im oder auf dem Boden liegenden abgestorbenen pflanzlichen oder tierischen Substanzen und außerdem deren organische Umwandlungsprodukte. Ebenso unter diese Klassifizierung entfallen anthropogen eingearbeitete Stoffe, welche sowohl synthetisch als auch organisch vorkommen können. Nicht hinzugerechnet werden hingegen das Edaphon, die Bodenflora und –fauna sowie lebende Pflanzenwurzeln [SCHEFFER 1998]. Eine Dunkelfärbung des Oberbodens und die physikalisch-chemischen Eigenschaften sind hauptsächlich durch Humusstoffe, d.h. Humussäuren, Fulvosäuren und Humine, geprägt. Die gesamte im Boden befindliche organische Substanz wird als Humus bezeichnet [SEIDL-LAMPA 2006].

Die Humusschicht im Boden verbessert das Pflanzenwachstum und dient als wichtiger Lebensraum. Des Weiteren enthält Humus essentielle Mineral- und Nährstoffe, welche er über einen langen Zeitraum freisetzt. Er erhöht außerdem die Wasserspeicherkapazität und verbessert das Bodenklima (Luft- u. Wärmehaushalt)<sup>1</sup>.

Die organische Substanz lässt sich auf zweierlei Wegen bestimmen, einerseits durch die trockene und andererseits durch die aufwendigere Nassveraschung. Bei der trockenen Veraschung kann es jedoch zu fehlerbehafteten Ergebnissen kommen, da hier teilweise das Edaphon und entweichendes Kristallwasser mit erfasst werden [SEIDL-LAMPA 2006]. Bis auf größere Wurzeln und Tiere kann man den Boden vor der Untersuchung nur schwer von anderen Bestandteilen trennen. Dennoch ist der aufgetretene Fehler kaum größer als 10 % [SCHEFFER 1998]. Carbonathaltige Böden können ebenfalls höhere Werte durch den Zerfall von Kalk vortäuschen. Hingegen eignen sich sandige bis lehmige Böden sehr gut für eine Trockenveraschung.

Zur Vorbereitung des Bodens wird dieser zunächst feingesiebt, gemörsert und 5 g davon werden in einen Porzellantiegel eingefüllt. Das Gefäß muss zuvor ausgeglüht und dessen Leergewicht (LG) mit einer Analysenwaage auf vier Dezimalen nach dem Komma genau ermittelt und notiert werden. Der Feinboden und der Porzellantiegel ergeben zusammen das Trockengewicht (TG) vor dem Glühen. Alle Proben werden nun in dem eine Stunde vorgeheizten Muffelofen bei 450 °C etwa 2-3 Stunden geglüht. Anschließend kühlen die Gefäße im Exsikkator ab und werden dann erneut gewogen. Diesen Vorgang muss man wiederholen bis sich eine Gewichtskonstanz einstellt. Das ermittelte Gewicht, sprich das Gefäßes und des Bodens nach dem Glühen (GG), wird vermerkt. Aus allen ermittelten Werten lässt sich der Glühverlust als  $GV = (TG - GG) / (TG - LG) * 100$  [%] bestimmen. Da die organische Substanz im Mittel 58 % Kohlenstoff enthält, kann vom Glühverlust auf den Kohlenstoffgehalt bzw. den Humusgehalt mit  $C = GV * 0,58$  [%] geschlossen werden.

---

<sup>1</sup> [http://www.bodenwelten.de/bod\\_schatz/bod\\_humus.htm#](http://www.bodenwelten.de/bod_schatz/bod_humus.htm#); Stand 24.05.2007

## 2.7.4 Leitfähigkeit

Als Leitfähigkeit bezeichnet man die Fähigkeit eines chemischen Stoffes oder Stoffgemisches, Energie oder andere Stoffe oder Teilchen im Raum zu transportieren<sup>2</sup>. Jegliche Stoffe, seien sie gasförmig, flüssig oder fest, die bewegliche Ladungsträger aufweisen, haben einen begrenzten Ohmschen Widerstand und damit einen ermittelbaren elektrischen Leitwert oder eine elektrische Leitfähigkeit. Diese wird i.d.R. in  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  angegeben. Der elektrische Leitwert ist das Reziproke des Ohmschen Widerstandes. Der Ladungsaustausch in wässrigen Lösungen wird durch die in Wasser dissoziierten Anionen und Kationen aufrechterhalten [SEIDL-LAMPA 2006].

Jede Bodenlösung weist einen bestimmten Salzgehalt auf, jedoch treten Salzschäden erst bei einem Überschreiten der spezifischen Leitfähigkeit von  $1\text{ }\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  auf. Diese wirken sich negativ auf das Pflanzenwachstum aus; der osmotische Druck ist dann so groß, dass es der Pflanze nicht möglich ist, Wasser aufzunehmen. Aride und semiaride Gebiete neigen zu Alkalisalzanreicherungen, was die Unfruchtbarkeit des Bodens zur Folge hat. In humiden Gegenden gelangen die Salze durch Auswaschung in tiefere Schichten und es kommt zur Versauerung [SEIDL-LAMPA 2006].

Für eine Messung der elektrischen Leitfähigkeit verwendet man im Allgemeinen Wechselstrom, um die einzelnen Bestandteile der Lösung und die Elektrodenoberfläche beizubehalten. In realen Lösungen steigt die Konzentration zunächst an; bei hochkonzentrierten Lösungen kommt es dann aber wieder zu einer Abnahme. Die Leitfähigkeit wird vor allem durch die Temperatur beeinflusst, da diese die Beweglichkeit von Ionen steuert und die Menge an dissoziierten Molekülen reguliert. Daher ist es wichtig, die Messungen bei einer möglichst konstanten Temperatur durchzuführen; einige Geräte besitzen bereits eine integrierte Temperaturkompensation. Die Messung erfolgt mit Hilfe einer Leitfähigkeitsmesszelle. Sie ist aus zwei gegenüberliegenden Festkörperelektroden aufgebaut, welche aus Kohle, Platin oder nichtrostendem Stahl bestehen können. Beide Elektroden sind in einen Zylinder integriert, damit sie von äußeren Einflüssen unbeeinflusst bleiben. Ebenso wie bei einer pH-Wertbestimmung ist auch hier vor Beginn der Messungen eine Kalibrierung durchzuführen, und zwar mittels Lösungen bekannter Leitfähigkeit. Hier wird zu Beginn eine Nullprobe von VE-Wasser, d.h. ionenfreiem Wasser, ermittelt [SEIDL-LAMPA 2006].

Für die Messung werden 20 g luftgetrockneter Boden je Probe benötigt, welche man in PE-Flaschen von 100 ml einwiegt. Hinzu kommen noch 50 ml VE-Wasser. Dann werden die Proben 5 Minuten geschüttelt und etwa 1 Stunde stehen gelassen. Der Inhalt der Flaschen muss für die Bestimmung in Bechergläser gegossen und die Leitfähigkeitsmesszelle vollständig in die Flüssigkeit eingetaucht werden. Nach einiger Zeit stellt sich ein Wert für die Leitfähigkeit ein. Gleichzeitig gibt das Gerät noch den Filtrattrockenrückstand und die Salinität (Salzgehalt) an.

---

<sup>2</sup> <http://www.wikipedia.org/wiki/Leit%C3%A4higkeit>, Oktober 2006

## 2.7.5 UV–spektrometrische Analytik verschiedener Nährsalze

### 2.7.5.1 Allgemeine Angaben

Abgesehen von der Gaschromatographie, der Atom-Adsorptions-Spektrometrie und der Ionenchromatographie ist unter anderem die Fotometrie eine gängige Methode zur Messung unterschiedlichster Ionen. Für diese Arbeit wurden Nitrat, Ammonium und Phosphor nach dieser Methode bestimmt. Dabei kam neben der Analytik im UV–Bereich auch die im sichtbaren Bereich zur Anwendung. Stoffe können entweder direkt oder über eine chemische Verbindung, d.h. einen Farbkomplex, in einem bestimmten Wellenlängenbereich Licht aufnehmen. Dabei liegt das Absorptionsmaxima für Nitrat bei 210 nm, für Ammonium bei 660 nm und für Phosphor bei 880 nm. Das Lambert-Beersche Gesetz beschreibt dieses Prinzip der Absorption [SEIDL-LAMPA 2006].

### 2.7.5.2 Ammoniumstickstoff

Pflanzenverfügbares Ammonium findet sich im Boden im Gegensatz zu Nitrat, welches leicht auswaschbar ist, nur in geringen Mengen. Meistens umfasst es weniger als 1 % des Gesamtstickstoffes [SCHEFFER 1998]. Es bildet sich im Boden bei dem Abbau von Aminosäuren oder Humus [SEIDL-LAMPA 2006]. Eine Anreicherung findet in den gemäßigten Breiten im Boden unter aeroben Verhältnissen nicht statt, da der Prozess der Nitrifikation wesentlich schneller erfolgt als der der Ammonifikation. Unter anaeroben Bedingungen hingegen verhält es sich umgekehrt [SCHEFFER 1998].

Für die praktische Bestimmung des Ammoniums mittels Spektralfotometers bedarf es einer Eichkurve. Diese kann entweder aus einer Datenbank entnommen oder selbst erstellt werden; für die Untersuchung wurde die Eichkurve neu bestimmt. Aus einer Stammlösung von 1000 mg  $\text{NH}_4^+$ /l stellt man durch Verdünnung mit VE-Wasser eine Lösung von 100 mg  $\text{NH}_4^+$  her. Daraus wiederum werden die eigentlichen Eichlösungen entwickelt. In 100 ml Maßkolben kommen nacheinander 0; 1; 1,5; 2 und 2,5  $\mu\text{g}$   $\text{NH}_4^+$ /ml, welche dann bis zum Eichstrich mit Extraktionslösung aufgefüllt werden. Die Lösung wird nun geschüttelt, 5 ml davon werden entnommen und angefärbt. Nach einer Wartezeit von 30 Minuten kann eine kleine Menge davon mit einer Pipette in eine Küvette abgefüllt und photometrisch gemessen werden. Alle ausgegebenen Werte sollten nach Möglichkeit annähernd auf der Geraden liegen. Es ist sinnvoll, die Eichkurve auf Millimeterpapier oder besser im Excel-Programm darzustellen. Die mit den Eichwerten ausgegebene Gleichung dient nachher der Berechnung der Ammoniumwerte [ $\mu\text{g}$ ] aus den Extinktionswerten durch Umstellen nach der Variablen x. Je exakter die Eichwerte die Gerade beschreiben, umso genauer können nachher die berechneten Werte aufgefasst werden.

Nachdem nun die Eichung erfolgt ist, können jetzt auch die Ammoniumwerte des Probenmaterials untersucht werden. Man benötigt dafür 15 g naturfeuchten Boden versetzt mit 60 ml Extraktionslösung. Es wird 0,01 molares Calciumchlorid verwendet, d.h. 1,47 g  $\text{CaCl}_2$  auf 1000 ml VE-Wasser. Alle Proben werden anschließend 30 Minuten geschüttelt und danach filtriert. 5 ml des klaren Filtrates pipettiert man in ein Reagenzglas und fügt 2,5 ml einer Mischlösung hinzu. Diese besteht zu gleichen Anteilen aus 0,3 molarer Natronlauge,

Natriumprussid-Salicylat-Lösung und VE-Wasser. Anschließend fügt man noch 1 ml Färbelösung, Dichlorisocyanursäure-Natriumsalz, hinzu und schüttelt die Probe. Eine halbe Stunde später können alle Lösungen bei einer Wellenlänge von 660 nm mit dem UV-VIS-Spektrofotometer gemessen werden. Als Blindwert nutzt man 5 ml VE-Wasser, dessen Küvette während der gesamten Messung im Gerät verbleibt. Anhand der Gleichung  $\mu\text{g NH}_4/\text{gTS} = (\text{VP} \cdot \text{V} \cdot \text{F} \cdot 100) / (\text{A} \cdot \text{EW} \cdot \% \text{TS})$  lassen sich die Ammoniumwerte in Abhängigkeit von der Trockensubstanz bestimmen.

|         |   |
|---------|---|
| VP      | Vollprobe ( $\mu\text{g NH}_4^+$ ), aus der Eichkurve berechnet |
| V = 60  | Gesamtvolumen des Extraktes (ml)                                |
| F = 1   | Verdünnungsfaktor (falls Verdünnung notwendig)                  |
| A = 5   | Filtrataliquot (ml)   |
| EW = 15 | Bodeneinwaage (g)   |
| TS [%]  | Trockensubstanzfaktor   |

Sowohl durch nicht ausreichende Extraktion als auch durch das Filtermaterial können die Ammoniumgehalte verfälscht werden [SEIDL-LAMPA 2006].

### 2.7.5.3 Nitratstickstoff

Im Boden kommt Stickstoff als  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NH}_4^+$  und in organisch gebundener Form vor [SEIDL-LAMPA 2006]. Nitrate, welche im Boden durch Nitrifikation gebildet werden, stellen den größten Teil der Stickstoffauswaschung, vor allem in das Grundwasser, dar. Wie groß dieser Nährstoffverlust durch Auswaschung ist, hängt vor allem von der Bodenbewirtschaftung, dem Pflanzenbestand oder der Häufigkeit der Düngung und der Bodenbearbeitung ab [SCHEFFER 1998].

Man kann Nitrat bzw. die reduzierte Form Nitrit im ultravioletten Bereich direkt über die Spektrofotometrie messen. Es lässt sich sowohl ionenchromatografisch als auch durch die aufwendigere Reduktion des Nitrats mit Hilfe von Zinkgranalien und der Messung bei 210 nm bestimmen. Für diese Untersuchung wurde hingegen das Verfahren der Doppelwellenbestimmung bei 228 nm und 218 nm genutzt. Wie zuvor schon bei der Ammoniumbestimmung braucht man hierfür zunächst eine Eichkurve. Analog werden aus einer Stammlösung von 1000 mg  $\text{NO}_3^-$  / l 10 ml entnommen und mittels VE-Wasser auf 100 ml aufgefüllt. Die Eichlösungen werden aus 0; 0,3; 0,5; 1 und 1,5 mg/ l der verdünnten Stammlösung sowie der Extraktionslösung hergestellt. Aus der Differenz der beiden ausgegebenen Werte je Lösung kann man die Eichkurve konstruieren.

Der Boden wird jetzt wie folgt vorbereitet. Zunächst kommen 10 g naturfeuchter Boden und 50 ml Extraktionslösung in eine PE-Flasche. Die Probe wird eine Stunde geschüttelt, anschließend filtriert und kann dann gegen den Blindwert, VE-Wasser, gemessen werden. Der Nitratstickstoffgehalt ergibt sich in Abhängigkeit von der Trockensubstanz als  $\text{N-NO}_3^-$  ( $\mu\text{g/gTS}$ ) =  $(\text{VP} \cdot 1000 \cdot \text{UF}) / (200 \cdot \text{TS})$ .



|    |  |
|----|--|
| VP | Vollprobe (mg/l $\text{NO}_3^-$ ), aus der Eichkurve berechnet |
| TS | Trockensubstanz der Bodenprobe                                 |
| UF | Umrechnungsfaktor $\text{NO}_3^-$ zu N                         |

#### 2.7.5.4 Phosphor

Um pflanzenverfügbaren Phosphor zu extrahieren, bietet sich die Laktatmethode an. Dazu benutzt man eine Lösung von Calciumlaktat bestehend aus einer starken Base und einer schwachen Säure, die durch Zugabe von Acetat auf einen konstanten pH-Wert von 3,5 gebracht wird. Für stark kalkhaltige Böden ist diese Methode hingegen ungeeignet. Das Prinzip dieses Verfahrens beruht auf der Freisetzung von laktatlöslichem Kalium durch den Austausch von Wasserstoff- und Calcium-Ionen der Laktatlösung. Das Phosphat wird durch die Säurewirkung des Laktatgemisches oder durch den Wechsel mit dem Laktation freigesetzt. Eine Bildung von schwerlöslichen Eisenphosphaten aus den in der Lösung vorliegenden gelösten Eisenionen wird durch die Zugabe von Milchsäure unterbunden. Wegen der in der Laktatlösung befindlichen  $\text{Ca}^{2+}$ - und  $\text{H}^+$ -Ionen können sich die Huminstoffe des Bodens nicht lösen bzw. flocken aus und stören so bei weiteren Analysen nicht. Die mit der Laktatmethode gemessenen Nährstoffkennwerte variieren in einem Bereich von 5 - 100 mg  $\text{P}_2\text{O}_5$  / 100 g Boden. Gehalte von 15 - 30 mg  $\text{P}_2\text{O}_5$  / 100 g Boden zeigen für durchschnittliche Böden eine gute Versorgung an [SEIDL-LAMPA 2006].

Die Messung von Phosphat nach [WIBKIRCHEN in SEIDL-LAMPA 2006] geschieht über die Ausbildung von Molybdänblau. Die Extinktion kann daraufhin bei 880 nm gemessen werden. Ammoniummolybdat wirkt mit Phosphat bei Vorhandensein von Ascorbinsäure als Reduktionsmittel. Als Ergebnis entsteht ein Molybdänblau-Komplex, der durch die Zufuhr von Kaliumantimon(III)-oxidtartrat stabilisiert wird und die Methode dadurch zuverlässig gestaltet [SEIDL-LAMPA 2006].

Für die Ermittlung von Phosphorgehalten ist wie bei den anderen beiden spektralfotometrischen Methoden eine vorherige Eichung notwendig. Es werden 10 ml einer Phosphatstammlösung von 1000 mg  $\text{PO}_4^{3-}$  / l entnommen und mit VE-Wasser auf 1 l aufgefüllt. Nach jeder Zugabe von Reagenzien sind die Maßkolben gut zu schütteln. In 100 ml große Maßkolben werden jetzt nacheinander 0; 4; 8; 12; 16 und 20 ml der Phosphatstandardlösung pipettiert und 10 ml einer CAL-Gebrauchslösung hinzugefügt. Zur Herstellung dieser Lösung benötigt man 77 g Calciumlaktat, welches in heißem destilliertem Wasser aufgelöst werden muss. Anschließend kommen noch 39,5 g Calciumacetat und 89,5 ml Eisessig hinzu. Das Gemisch muss sodann auf 1 l aufgefüllt werden. Für die Anwendung dieser CAL-Lösung verdünnt man diese 1:5. Danach müssen die Eichlösungen auf  $\frac{3}{4}$  des Volumens unter dem Eichstrich mit VE-Wasser aufgefüllt werden. Anschließend fügt man 16 ml Färbelösung hinzu und füllt die Maßkolben mit VE-Wasser auf 100 ml auf. Für die Messung der Eichwerte im Spektralfotometer dient die Lösung ohne die Phosphatstandardlösung als Blindwert. Die ausgegebenen Werte sollten wieder im Excel-Format dargestellt werden.

Für die Ermittlung der Phosphorgehalte des Bodenmaterials benötigt man 5 g luftgetrocknete Erde, die in PE-Flaschen einzuwiegen ist. In jede Flasche werden 0,1 g Aktivkohle und 100 ml CAL-Gebrauchslösung hinzugefügt. Die Proben müssen für 2 Stunden in die Schüttler und

können dann filtriert werden. Es ist sinnvoll, neben den Bodenproben einen Ansatz für den Blindwert ganz ohne Bodenmaterial mitlaufen zu lassen. Von dem Filtrat werden 5 ml entnommen und in 50 ml-Maßkolben gegeben. Sollte die filtrierte Lösung sehr dunkel sein, sollte der Vorgang nochmals wiederholt werden, ehe mit dem weiteren Versuch fortgefahren wird. Zu den 5 ml des Extraktes kommt VE-Wasser hinzu, sodass das Gefäß zu  $\frac{3}{4}$  gefüllt ist. Anschließend gibt man 8 ml der Färbelösung hinzu und füllt bis zu Eichstrich auf. Nachdem die Probe ausreichend geschüttelt wurde, braucht sie 30 Minuten Reaktionszeit. Bei einer Wellenlänge von 880 nm können die Phosphatgehalte gegen den Nullwert der Eichkurve gemessen werden. Falls der Blindwert ebenfalls einen Wert anzeigt, so muss dieser von den Ergebnissen des Probenmaterials abgezogen werden. Zu beachten ist, dass man bei Extinktionen  $> 0,5$  die CAL-Lösung verdünnen sollte; die Differenz zu den 5 ml Extraktionslösung ist durch das CAL-Gebrauchsreagenz zu ersetzen. Das Spektralfotometer gibt Werte in  $[[\text{mg}] \text{PO}_4/100[\text{g}] \text{TS}]$  an, über Umrechnungsfaktoren erhält man Ergebnisse für  $[[\text{mg}] \text{P}_2\text{O}_5 / 100\text{g TS}]$ .

## **2.7.6 Kalkgehalt**

Der Kalkgehalt eines Bodens lässt sich grob durch die Reaktion bei Zugabe von Salzsäure zuordnen. Benötigt werden dafür circa 3-5 g trockener, gesiebter Boden je Probe. Die Erde wird auf eine Petrischale gegeben und mit einigen Tropfen 10%iger Salzsäure beträufelt. Je nach Reaktion, d.h. der Produktion von Kohlendioxid, lassen sich 4 verschiedene Bereiche unterscheiden. Bei keinerlei Aufbrausen beträgt der Kalkgehalt weniger als 0,5 % und der Boden gilt als kalkfrei bis kalkarm. Die zweite Stufe bei 0,5-2,0 % weist auf einen schwachen Kalkgehalt hin, die Probe zeigt nur ein schwaches, nicht anhaltendes Aufbrausen. Bei 3,0-4,0 % zeigt sich die Reaktion viel deutlicher, aber nicht andauernd. Dies gibt Hinweise auf einen mäßigen Kalkgehalt. Von einem starken Kalkgehalt spricht man bei einem Anteil an der Bodensubstanz von mehr als 5 %. Die Reaktion ist sehr stark und langanhaltend [SEIDL-LAMPA 2006]. Bei sandigen Böden verlaufen diese Reaktionen meist viel stärker als bei tonigen Erden. Ebenso ist zu beachten, dass feiner Kalk heftiger reagiert als grobkörniger. Eine Unterscheidung von Kalkgehalten, die 10 % übersteigen, ist mit dieser Methode nicht möglich [SCHLICHTING 1995]. Hauptsächlich wird der Kalkgehalt durch die Verwitterung von Gestein beeinflusst und zeigt i.d.R. einen ähnlichen Verlauf wie der pH-Wert. Stark saure Böden sind somit meist frei von Kalk, in alkalischen Böden hingegen findet sich viel Kalk [SEIDL-LAMPA 2006].

## **2.7.7 Wassergehalt und Trockensubstanz**

In jedem Boden findet sich unter natürlichen Verhältnissen eine bestimmte Menge an Bodenwasser. Im Gleichgewichtszustand ist dieser Anteil mitunter gering. Dieses Wasser kann bei 105 °C entfernt werden, man spricht hier vom Wassergehalt [Masse-% oder Volumen-%]. Alle anderen Wasseranteile, die erst bei wesentlich höheren Temperaturen herauszulösen sind, gehören definitionsgemäß nicht mehr zum Bodenwasser. Dazu zählen in erster Linie Kristall- und Konstitutionswasser an festen Bodenpartikeln [SCHEFFER 1998]. Die

Wassergehalte verschiedener Bodenarten unterscheiden sich teilweise stark, da sie in einem engen Zusammenhang mit den jeweiligen Porenvolumen stehen [SEIDL-LAMPA 2006].

Zunächst werden alle Petrischalen nummeriert und deren Gewichte ( $TG_P$ ) festgestellt. In die Schalen sind jeweils 10g des feuchten, gesiebten Probenmaterials ( $FG_B$ ) einzuwiegen. Anschließend werden alle Petrischalen ohne Abdeckung für 12 Stunden bei 105°C im Trockenschrank getrocknet. Danach müssen die Proben für einige Zeit im Exsikkator auskühlen und es kann anschließend das Gesamtgewicht von Petrischale und Boden nach dem Trocknungsprozess ( $TG_{ges}$ ) bestimmt werden. Mit Hilfe dieses Wertes lässt sich nun das Trockengewicht des Bodens ( $TG_B$ ) über die Gleichung  $TG_B = TG_{ges} - TG_P$  ermitteln. Der Wassergehalt  $WG$  ergibt sich dadurch als  $WG = ((FG_B - TG_B)/FG_B) \cdot 100$  und die Trockensubstanz  $TS$  als  $TS = TG_B/FG_B$ .

### 3 Ergebnisse

#### 3.1 Bodenparameter

##### 3.1.1 pH-Wert und Kalkgehalt

Der Diagrammverlauf des pH-Wertes von  $\text{CaCl}_2$  (Abb. 3) weist bei Betrachtung des gesamten Transektes zu Beginn bei den Proben 1a-6a sehr niedrige Werte auf. Der pH-Verlauf zeigt dort Ergebnisse zwischen 3,79 und 7,47 an; d.h. der Boden ist dort stellenweise stark sauer. Die sich anschließenden Daten des 1. Durchganges, 7a-61a, bewegen sich alle um einen mittleren Wert von ca. 7,5. Dies entspricht einem neutralen bis schwach basischen Verhältnis; der Kurvenverlauf zeigt sich dort homogen. Ab dem Probenpunkt 67a mit einem Wert von 6,57 treten tendenziell stärkere Schwankungen auf. Insgesamt gesehen zeigt der letzte Abschnitt des Transektes einen Schwankungsbereich von 4,84 (Probe 94a) bis 7,58 (Probe 69a) auf.

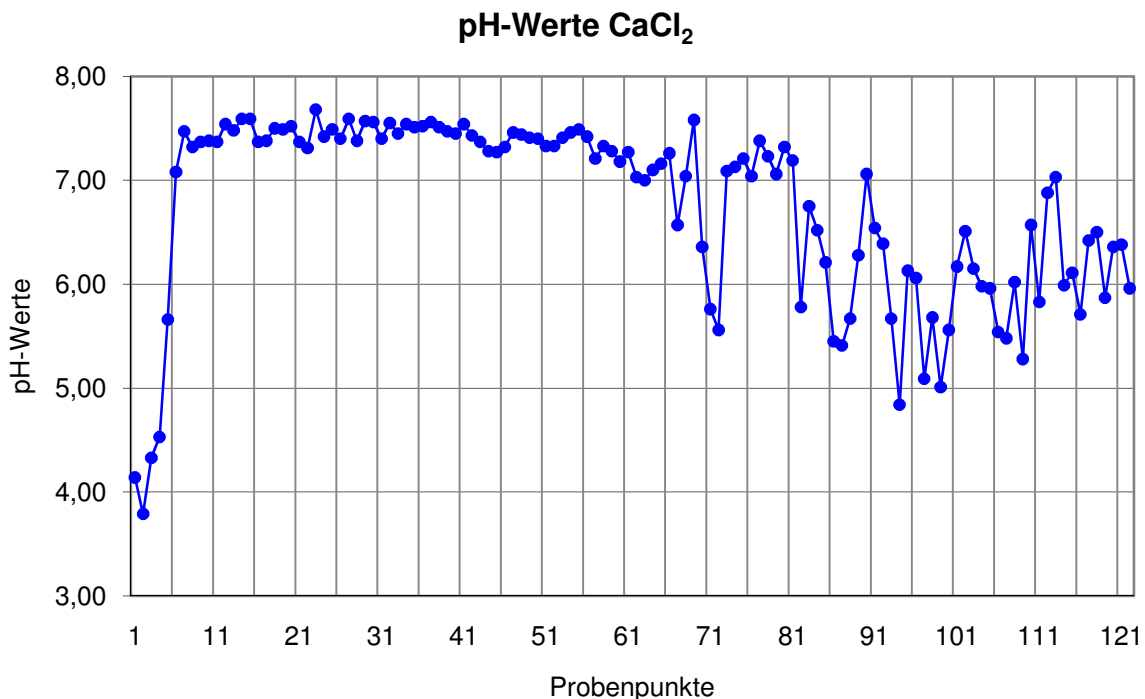
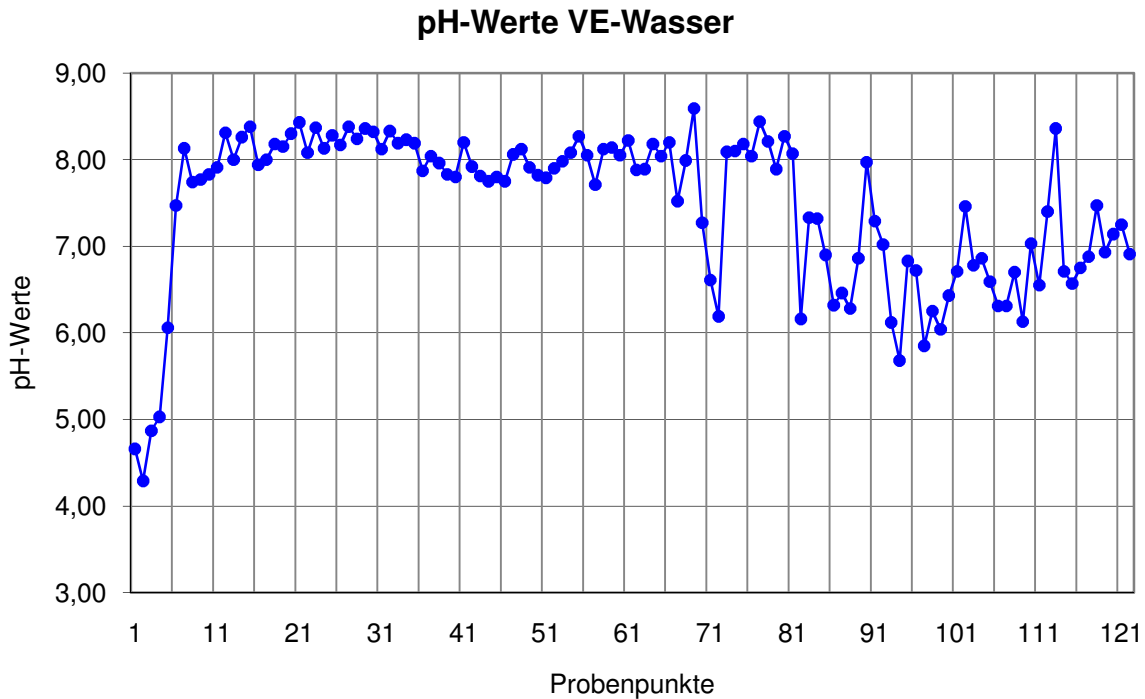


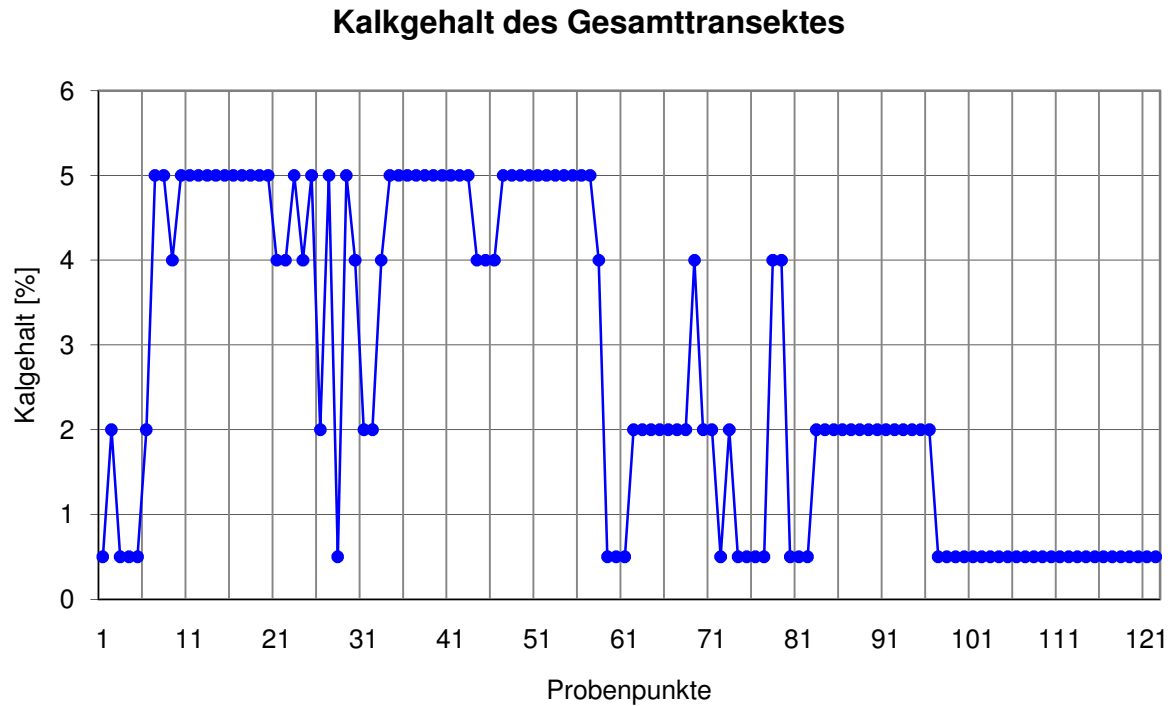
Abb. 3: pH-Wert-Diagramm mit  $\text{CaCl}_2$  vom gesamten Transekt

Ein Vergleich des Kurvenverlaufes des pH-Wertes von  $\text{CaCl}_2$  mit dem von VE-Wasser (Abb. 4) zeigt ein ähnliches Bild. Bis auf wenige Ausnahmen stimmen die Werte miteinander überein, abgesehen von der Tatsache, dass die Kurve etwas mehr in den basischen Bereich verschoben ist. Das liegt allein daran, dass sich die pH-Werte der Nullproben voneinander unterscheiden. Der pH-Wert des VE-Wassers ist höher als der des Calciumchlorides. Die Schlussfolgerung aus dieser Darstellung bleibt dennoch die gleiche wie bei dem vorherigen Diagramm.



**Abb. 4: pH-Wert-Diagramm mit VE-Wasser vom gesamten Transekt**

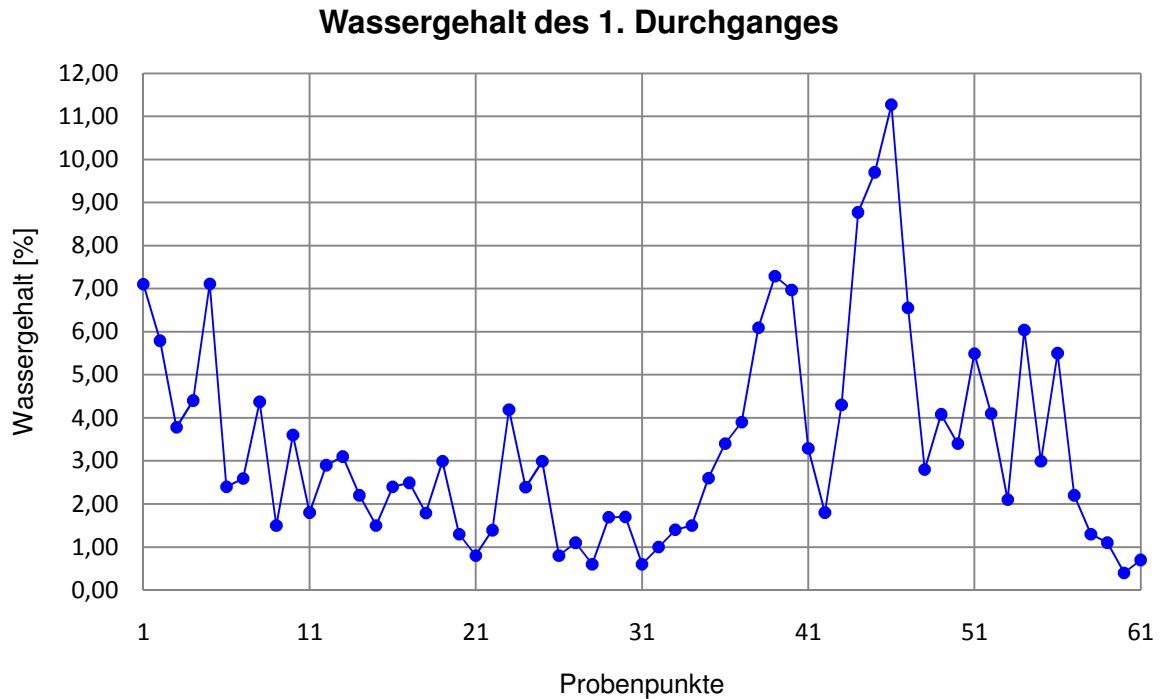
Die ermittelten Daten für den Kalkgehalt legen einen Vergleich mit dem pH-Wert nahe. Dieser dient jedoch nur als eine grobe Orientierung und lässt keine detaillierten Aussagen zu. Eine Skalierung von 0 % bis 5 % und mehr lässt keine exakte Differenzierung für die Carbonateigenschaften des Bodens zu. Der Verlauf des Kalkgehaltes (Abb. 5) im Boden zeigt zunächst in den ersten Probenpunkten, 1a-7a, einen geringen Gehalt an, wodurch auch die sauren Eigenschaften zu Beginn des Transektes zu erklären sind. Anschließend steigt die Kalkmenge im Boden an, parallel zu dem sich erhöhenden pH-Wert. Im Bereich von 7a-58a scheint die Kalkmenge im Boden, bis auf wenige Ausreißer, sehr homogen zu sein. Zu Beginn des 2. Durchganges ab Probe 62a bzw. teilweise schon nach dem 1. Durchgang verhält sich der Kalkgehalt stetig abnehmend.



**Abb. 5: Kalkgehalt-Diagramm vom gesamten Transekt**

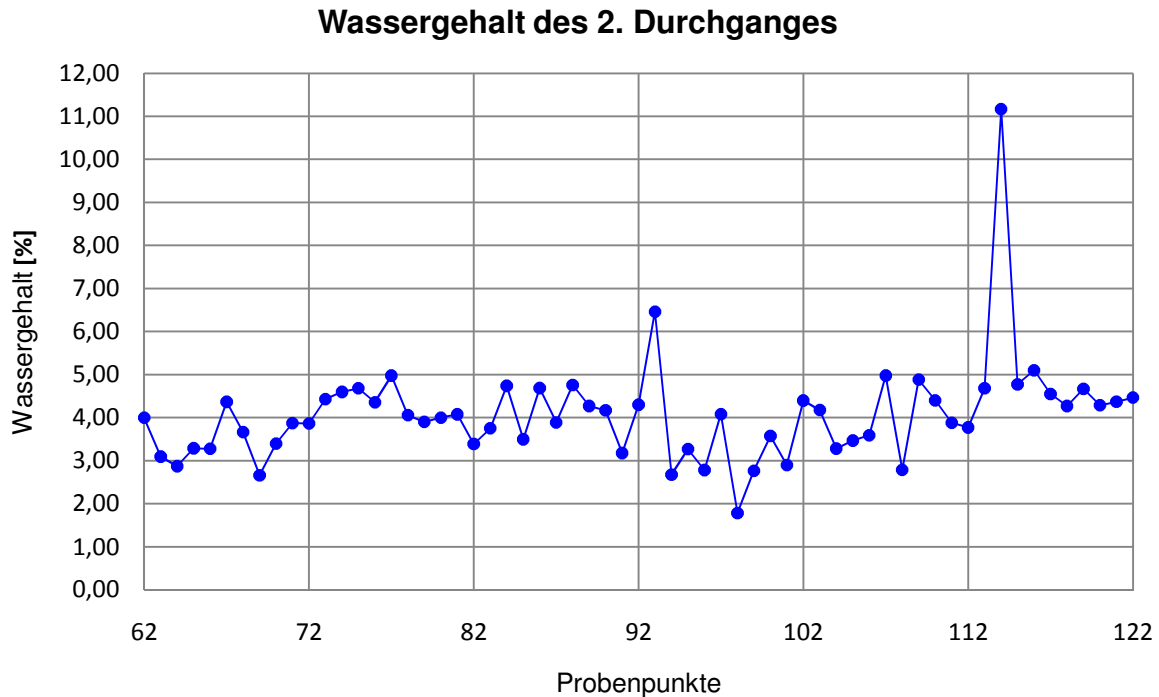
### 3.1.2 Wassergehalt

Der Verlauf des Wassergehaltes (Abb.6) zeigt sich durchgehend inhomogen. In Probe 1a liegt ein Wert von 7,10 % vor, die Hauptrichtung der nachfolgenden Messpunkte zeigt einen Abfall des Wassergehaltes bis auf 0,60 % in 31a an. Daraufgehend steigt die Kurve wieder tendenziell bis zu einem Maximum von 11,27 % in 46a an, um danach erneut, mit einigen Schwankungen dazwischen, auf das Minimum von 0,4 % im Probenpunkt 60a abzusinken.



**Abb. 6: Wassergehalt-Diagramm vom 1. Transekt**

Im 2. Durchgang verhält sich der Wassergehalt (Abb. 7) homogener als der im 1. Durchgang; es treten wesentlich weniger Schwankungen auf. Im Bereich zwischen 62a und 91a belaufen sich die Daten um einen Wert von 4 %. Im Anschluss zeigt sich ein lokales Maximum bei 93a von 6,46 %, die nachfolgenden Punkte bis 112a schwanken nach dem Abfall des Hochpunktes um einen mittleren Wassergehalt von ca. 3 %. Es schließt sich dann noch einmal ein Maximum von 11,17 % im Punkt 114a an, von dem aus der Verlauf wieder abfällt und auf einem konstanten Niveau weiterläuft.



**Abb. 7: Wassergehalt-Diagramm vom 2. Transekt**

### **3.1.3 Maximale Wasserhaltekapazität**

Für die maximale Wasserhaltekapazität (Abb.8) erfolgt keine getrennte Betrachtung beider Diagramme, da dadurch die Unterschiede zwischen beiden Bereichen deutlicher werden. Der Verlauf der Messwerte des 1. Durchganges zeigt einen großen Schwankungsbereich. Es gibt in diesem Bereich zwei ausgeprägte Anstiege, von denen ein Maximum bei 13a (63,74 %) und der zweite bei 39a (70,20 %) liegt. Letzterer ist gleichzeitig der größte Messwert des 1. Transektes und der kleinste befindet sich im Punkt 2a mit 8,72 %.

Die Werte des 2. Durchganges liegen auf einem niedrigeren Niveau als die des 1. und die Schwankungsbreite fällt deutlich geringer aus. Dort gibt es keine ausgeprägten Maxima oder Minima, alle Werte pendeln zwischen den Wasserhaltekapazitäten von 0 % bis annähernd 30 %, um sich dann zunehmend am Ende des 2. Transektes auf einen mittleren Wert von etwa 5 % einzupegeln.



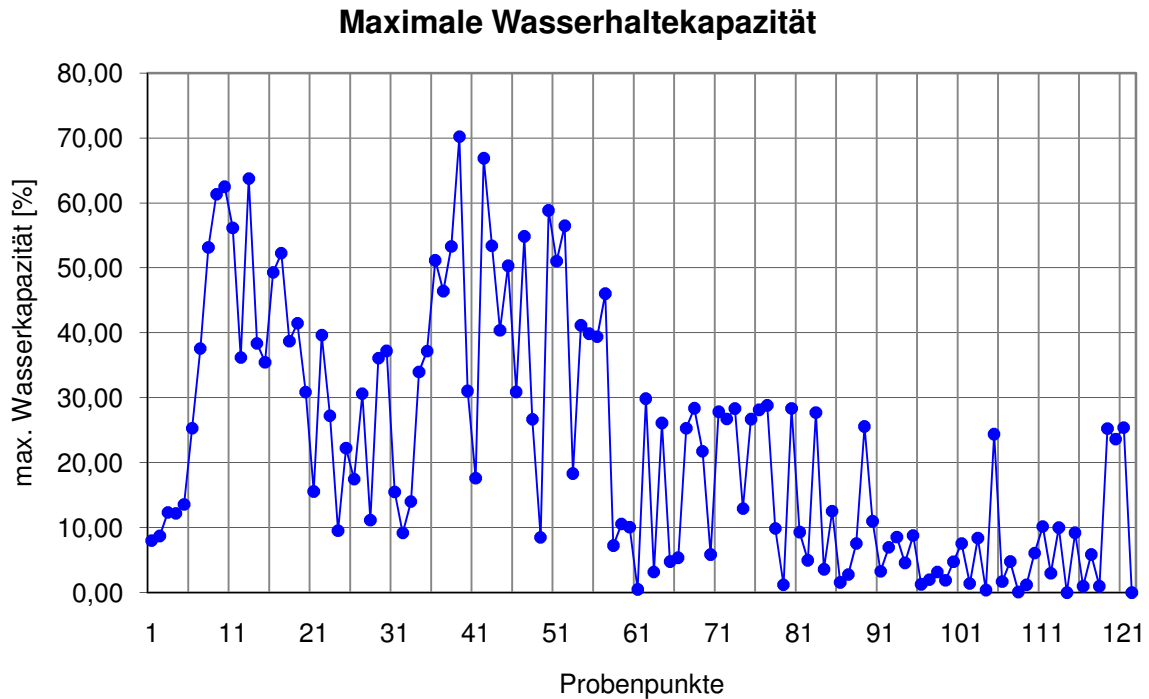
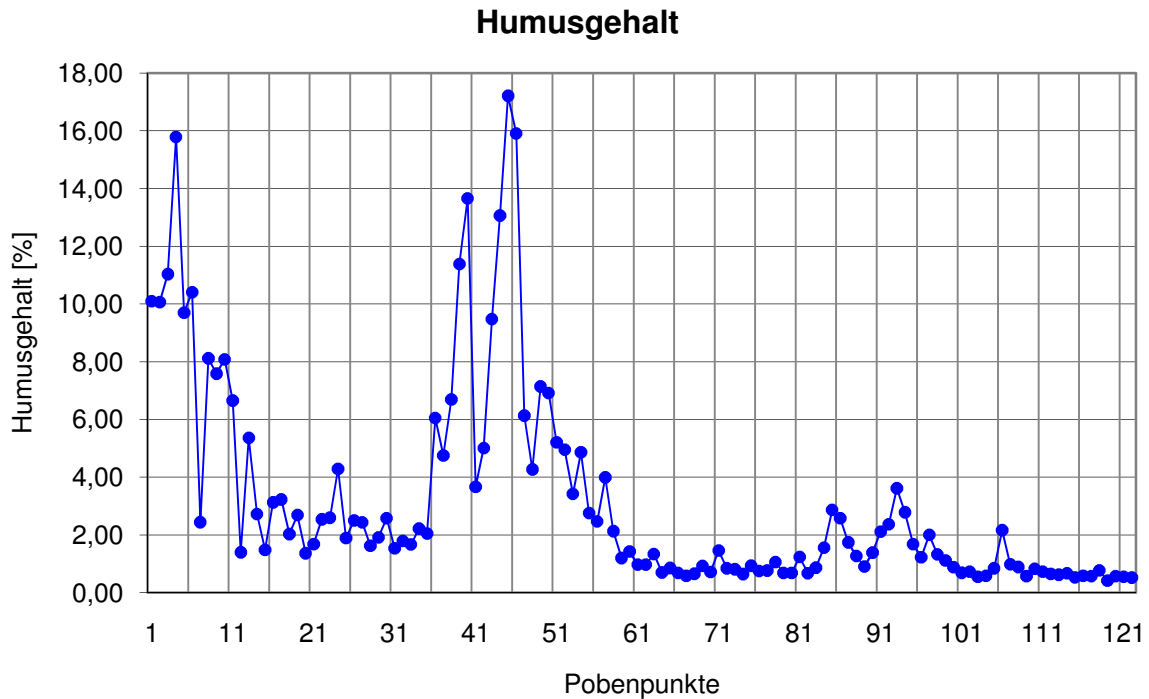


Abb. 8: Diagramm der max. Wasserhaltekapazität vom gesamten Transekt

### 3.1.4 Humusgehalt

Wie zuvor bei der maximalen Wasserhaltekapazität, ist es auch hier sinnvoll eine Betrachtung des Gesamtdiagrammes (Abb. 9) vorzunehmen. Im ersten Abschnitt zeigen sich zwei größere Maxima von 15,79 % bei 4a und 17,21 % bei 45a. Zwischen beiden Maxima fallen die Werte stark ab. Zwischen 12a und 35a fallen die Humusgehalte besonders niedrig aus, der durchschnittliche Wert liegt dort bei ca. 2 %.

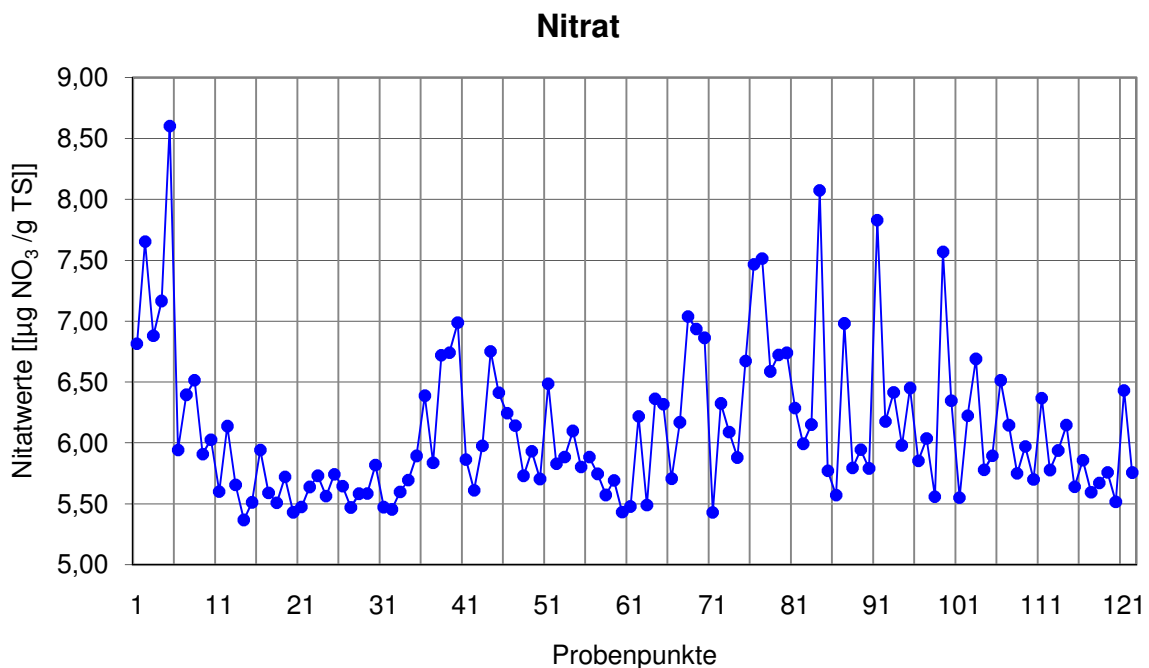
Im zweiten Durchgang ist der Verlauf sehr homogen und beläuft sich auf etwa 1 %. Die größte Abweichung ist ein Hochpunkt von annähernd 4 % bei 93a.



**Abb. 9: Humusgehalt-Diagramm vom gesamten Transekt**

### 3.1.5 Nitratgehalt

Für den Nitratgehalt wird eine Gesamtbetrachtung (Abb. 10) vorgenommen, um die geringen Abweichungen entlang des gesamten Transektes zu verdeutlichen. Im 1. Durchgang liegen die Werte dennoch näher beieinander als es im 2. der Fall ist. Die Schwankungsbreite der Messpunkte erstreckt sich etwa zwischen  $5 \mu\text{g NO}_3 / \text{g TS}$  und  $8,5 \mu\text{g NO}_3 / \text{g TS}$ .



**Abb. 10: Nitrat-Diagramm vom gesamten Transekt**

### 3.1.6 Ammoniumgehalt

Der 1. Durchgang zeigt starke Schwankungen im Verlauf (Abb. 11) und die Werte sind generell höher angesetzt als im 2. Es zeichnen sich zwei deutlich sichtbare Maxima ab, von denen das größte 5,639  $\mu\text{g/g TS}$  (5a) beträgt und das kleinere 3,417  $\mu\text{g/g TS}$  (51a). Die dazwischen liegenden Werte variieren etwa im Bereich 0-1  $\mu\text{g/g TS}$ .

Im 2. Bereich sind die Ergebnisse sehr gering, es treten keinerlei Veränderungen im Verlauf auf, alle Werte bewegen sich im Bereich des Wertes Null.

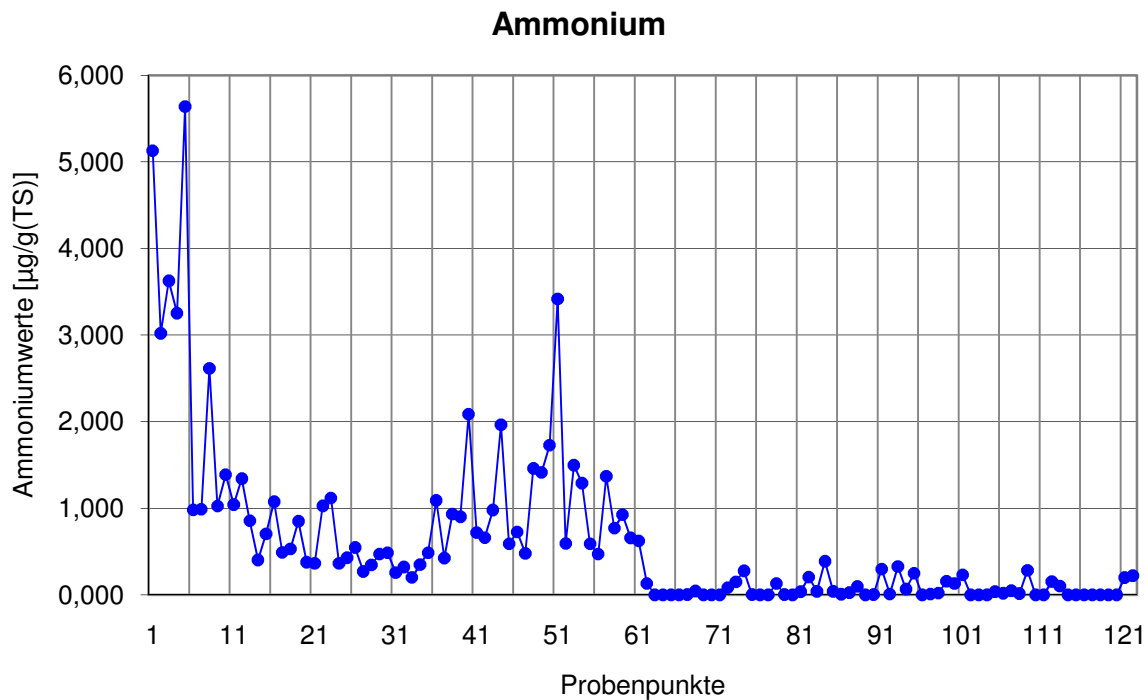


Abb. 11: Ammonium-Diagramm vom gesamten Transekt

### 3.1.6 Phosphorgehalt

Ähnlich wie zuvor beim Ammoniumgehalt zeigt der 1. Transekt die größere Heterogenität (Abb. 12). Die beiden ausgeprägtesten Hoch- und Tiefpunkte liegen hier nur 1,5 m auseinander: Das Minimum des 1. Durchganges beträgt 0  $\text{mg P}_2\text{O}_5/100\text{g TS}$  (40a) und das Maximum 11,89  $\text{mg P}_2\text{O}_5/100\text{g TS}$  (37a).

Im zweiten Abschnitt bewegen sich die Messpunkte im Bereich von 3-4  $\text{mg P}_2\text{O}_5/100\text{g TS}$  und liegen somit dicht zusammen.

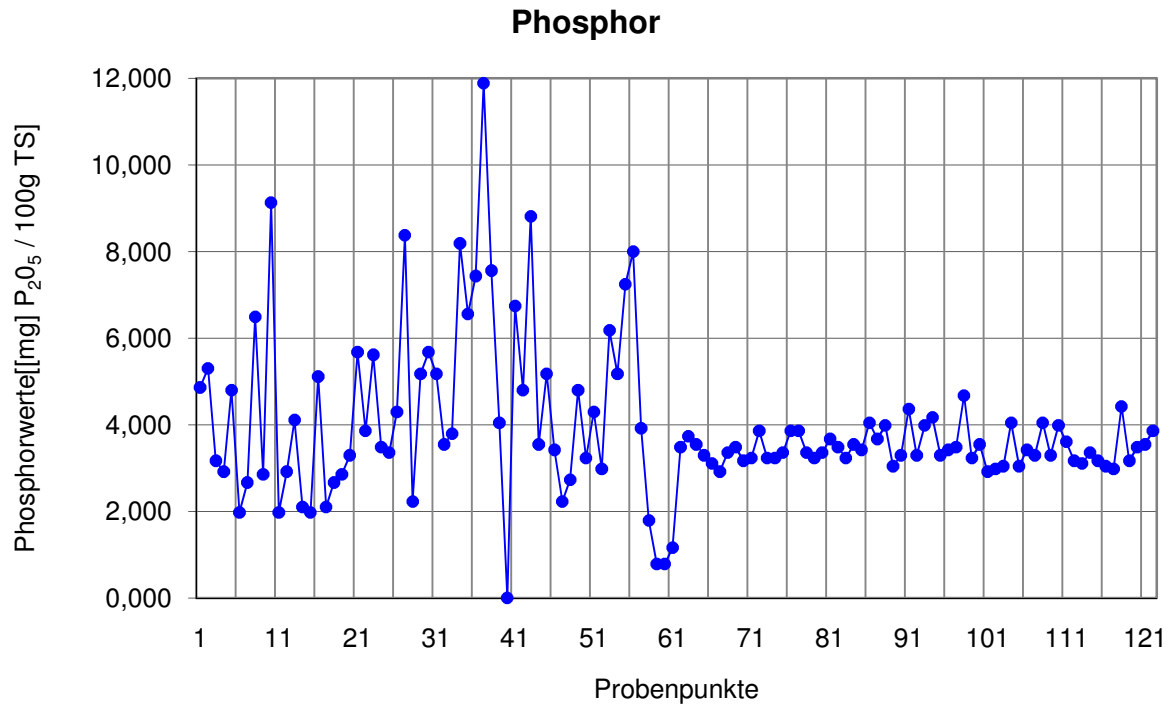


Abb. 12: Phosphor-Diagramm vom gesamten Transekt

### 3.1.8 Leitfähigkeit

Die Auswertung der Leitfähigkeit (Abb. 13) zeigt, dass es in beiden Abschnitten große Unterschiede bei den Messweltergebnissen gibt, im 1. Durchgang fallen diese Abstände jedoch wesentlich größer aus. Es treten zwei auffällige Maxima auf, wovon eines bei 8a ( $202 \mu\text{S}/\text{cm}$ ) liegt und das andere bei 45a ( $268 \mu\text{S}/\text{cm}$ ).

Ab dem 2. Durchgang fällt das Messwertniveau deutlich ab, der Großteil der Werte bewegt sich zwischen  $70 \mu\text{S}/\text{cm}$  und  $80 \mu\text{S}/\text{cm}$ . Ausgeprägte Hoch- und Tiefpunkte sind in diesem Bereich nicht mehr zu finden.

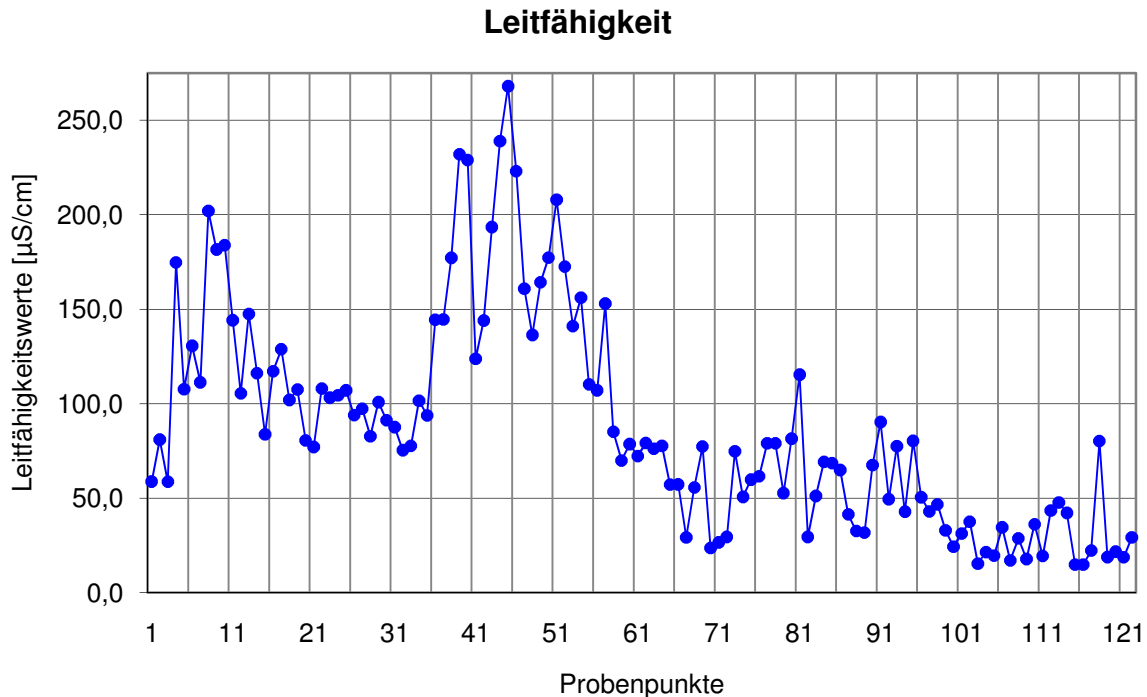


Abb. 13: Leitfähigkeits-Diagramm vom gesamten Transekt

## 3.2 Ergebnisse des Vegetationsprotokolls anhand der Zeigerwerte von ELLENBERG

### 3.2.1 Vorbetrachtungen

Für die Betrachtung der Zeigerwerte standen laut der Vegetationserfassung folgende 9 Pflanzenarten zur Verfügung: *Calamagrostis epigejos*, *Festuca ovina subsp. tenuifolia*, *Corynephorus canescens*, *Hieracium pilosella*, *Pinus sylvestris*, *Hypericum perforatum*, *Tanacetum vulgare*, *Trifolium campestre* und *Vicia lathyroides* (Tab. 1). *Pinus sylvestris* konnte, bis auf die Salzzahl, nicht in die Bewertung einbezogen werden, da sie als Baum ein durchweg indifferentes Verhalten aufweist. Dies zeigt sich in der weiten Amplitude der einzelnen Parameter, d.h. die Kiefer ist nicht auf das Vorhandensein einer bestimmten Kombination von Bodeneigenschaften angewiesen.

Für eine Gegenüberstellung der Zeigerwerte mit den Pflanzenarten wurde zur vereinfachten Darstellung des Sachverhaltes das Vorkommen einer bestimmten Art mit 1 gleichgesetzt, ihr Fehlen entspricht 0.

### 3.2.2 Reaktionszahl

Bodenreaktionen werden mit der Reaktionszahl R charakterisiert, wobei die Reaktionszahlen nicht dem pH-Wert entsprechen. Starksäurezeiger haben den Wert 1, Basen- und Kalkzeiger den Wert 9 [ELLENBERG 1992].

*Calamagrostis epigejos* und *Hieracium pilosella* entfallen für die Bewertung des Säureverhaltens, da beide indifferent sind. Hingegen geben *Festuca ovina subsp. tenuifolia*, *Corynephorus canescens* und *Vicia lathyroides* die Reaktionszahl 3 an und sind somit

Säurezeiger. Ihr Schwerpunkt vorkommen liegt im sauren, in Ausnahmefällen im neutralen Bereich [ELLENBERG 1992]. *Trifolium campestre* und *Hypericum perforatum* haben eine Reaktionszahl von 6 und weisen damit darauf hin, dass sie zwischen den Mäßigsäure- und den Schwachsäure- bis Schwachbasenzeigern stehen. Die Bodenreaktion von 8 bei *Tanacetum vulgare* gibt an, dass die Pflanze zwischen den Schwachsäure- bis Schwachbasenzeigern und den Basen- und Kalkzeigern liegt (Tab. 1).

### 3.2.3 Feuchtezahl

Die Feuchtezahl F gibt die Feuchtigkeit des Bodens an, die Amplitude reicht von 1 (Starktrockniszeiger) bis 12 (Unterwasserpflanzenzeiger) [ELLENBERG 1992].

Ein Großteil der Zeigerpflanzen zeigt eine Feuchtezahl von 4 an, was bedeutet, dass es sich überwiegend um Trocknis- bis Frischezeiger handelt. Dazu zählen *Festuca ovina subsp. tenuifolia*, *Hieracium pilosella*, *Hypericum perforatum* und *Trifolium campestre*. *Tanacetum vulgare* hingegen ist mit F = 5 eine Frischezeiger. Eine Ausnahme bilden auch *Corynephorus canescens* und *Vicia lathyroides*, beide Pflanzenarten deuten mit einer Feuchtezahl von 2 auf stark trockene bis trockene Verhältnisse hin (Tab. 1).

### 3.2.4 Temperaturzahl

Mit Hilfe der Temperaturzahl lassen sich Angaben über das Vorkommen in kälteren oder wärmeren Regionen machen. Auf einer Skala von 1 bis 9 stehen erstere für die Kältezeiger von Gebirgsregionen und letztere für Anzeiger extrem warmer Gebiete [ELLENBERG 1992].

Alle Pflanzenarten bewegen sich bei der Temperaturzahl im Bereich von 5-6. *Calamagrostis epigejos* kommt hier auf einen Zeigerwert von 5, was einem Mäßigwärmezeiger entspricht. Eine Temperaturzahl von 6 haben *Festuca ovina subsp. tenuifolia*, *Corynephorus canescens*, *Hypericum perforatum* und *Tanacetum vulgare*; diese sind somit allesamt Mäßigwärme- bis Wärmezeiger. *Trifolium campestre* und *Vicia lathyroides* lassen sich bei der Einschätzung des Temperaturverhaltens nur sehr unsicher einordnen und entfallen damit für diese Betrachtung (Tab. 1).

### 3.2.5 Stickstoffzahl/ Nährstoffzahl

Zur Darstellung der allgemeinen Nährstoffverfügbarkeit für Pflanzen im Boden wird die Stickstoffzahl, auch als Nährstoffzahl bezeichnet, herangezogen.

NO<sub>3</sub> und / oder NH<sub>4</sub> finden als wichtigste Nährstoffe für die Vegetation Berücksichtigung. Der Wirkungsgrad der Amplitude reicht von 1 (stickstoffärmste Standorte anzeigend) bis 9 (an übermäßig stickstoffreichen Standorten konzentriert) [ELLENBERG 1992].

Die Werte für die Nährstoffzahl bewegen sich bei 2-6. Erstere zeigt stickstoffärmste bis stickstoffarme Standorte an. Zeigerpflanzen hierfür sind *Festuca ovina subsp. tenuifolia*, *Corynephorus canescens*, *Hieracium pilosella* und *Vicia lathyroides*. *Trifolium campestre* deutet mit N = 3 auf stickstoffarme Bedingungen hin. Eine Nährstoffzahl von 4 hat

*Hypericum perforatum* und ist somit ein Zeiger für stickstoffarme bis mäßig stickstoffreiche Verhältnisse. Mit einer Stickstoffzahl von 5 ist *Tanacetum vulgare* ein Mäßigstickstoffzeiger. *Calamagrostis epigejos* hingegen zeigt mit N = 6 mäßig stickstoffreiche bis stickstoffreiche Verhältnisse an (Tab. 1).

### 3.2.6 Salzzahl

Salzkonzentrationen im Boden, vor allem die des Chlorides, können durch die Salzzahl verdeutlicht werden. Innerhalb der Amplitude steht 0 für nicht salzertragend und 9 für extrem hohe Salzgehalte [ELLENBERG 1992].

Sowohl die chemischen Analysen als auch die Ergebnisse der Zeigerwerte belegen einstimmig, dass im Boden keine erfassbaren Chloridkonzentrationen vorhanden sind und die Pflanzen alle nicht salzertragend sind (Tab. 1).

**Tab. 1: Zeigerwerte der aufgenommenen Vegetation**

| Arten                                  | Vorkommen  | R | F  | N | T | S |
|--|--|---|----|---|---|---|
| <i>Calamagrostis epigejos</i>          | 1a-12a<br>14a-23a<br>25a-28a<br>30a<br>33a-38a<br>40a-43a<br>45a-61a<br>63a, 69a,<br>74a, 82a<br>100a, 104a<br>105a, 114a<br>119a, 121a<br>122a          | X | X~ | 6 | 5 | 0 |
| <i>Festuca ovina subsp. tenuifolia</i> | 18a, 20a<br>22a<br>27a-29a<br>31a-34a<br>39a, 47a<br>49a<br>65a-68a<br>70a-73a<br>75a-84a<br>87a-96a<br>98a-102a<br>104a, 105a<br>107a-111a<br>116a-122a | 3 | 4  | 2 | 6 | 0 |
| <i>Corynephorus canescens</i>          | 31a, 32a<br>35a, 36a<br>55a-60a  | 3 | 2  | 2 | 6 | 0 |
| <i>Hieracium pilosella</i>             | 2a, 46a<br>47a, 59a<br>62a, 66a<br>67a, 84a<br>88a   | X | 4  | 2 | X | 0 |
| <i>Pinus sylvestris</i>                | 15a, 16a<br>27a, 28a<br>32a, 33a   | X | X  | X | X | 0 |

| Arten                       | Vorkommen   | R | F | N | T | S |
|-----------------------------|---|---|---|---|---|---|
|                             | 35a-42a<br>45a-58a<br>70a-72a<br>76a, 77a<br>80a-82a<br>84a-88a<br>91a-98a<br>106a-109a<br>111a, 114a<br>117a, 122a |   |   |   |   |   |
| <i>Hypericum perforatum</i> | 11a, 34a<br>39a   | 6 | 4 | 4 | 6 | 0 |
| <i>Tanacetum vulgare</i>    | 30a, 66a  | 8 | 5 | 5 | 6 | 0 |
| <i>Trifolium campestre</i>  | 29a, 45a  | 6 | 4 | 3 | 6 | 0 |
| <i>Vicia lathyroides</i>    | 37a   | 3 | 2 | 2 | 7 | 0 |

### 3.3 Vorkommende Collembolenarten

#### 3.3.1 *Dicyrtoma fusca*

Die Untersuchungen zeigten, dass *Dicyrtoma fusca* (Abb. 14) im 1. Abschnitt des Transektes gar nicht und im 2. Bereich nur sporadisch vorkommt. Insgesamt konnten im 2. Durchgang nur 7 Exemplare nachgewiesen werden mit jeweils nur einem Vertreter in den Proben 66a, 71a, 76a, 101a, 106a, 111a und 112a.

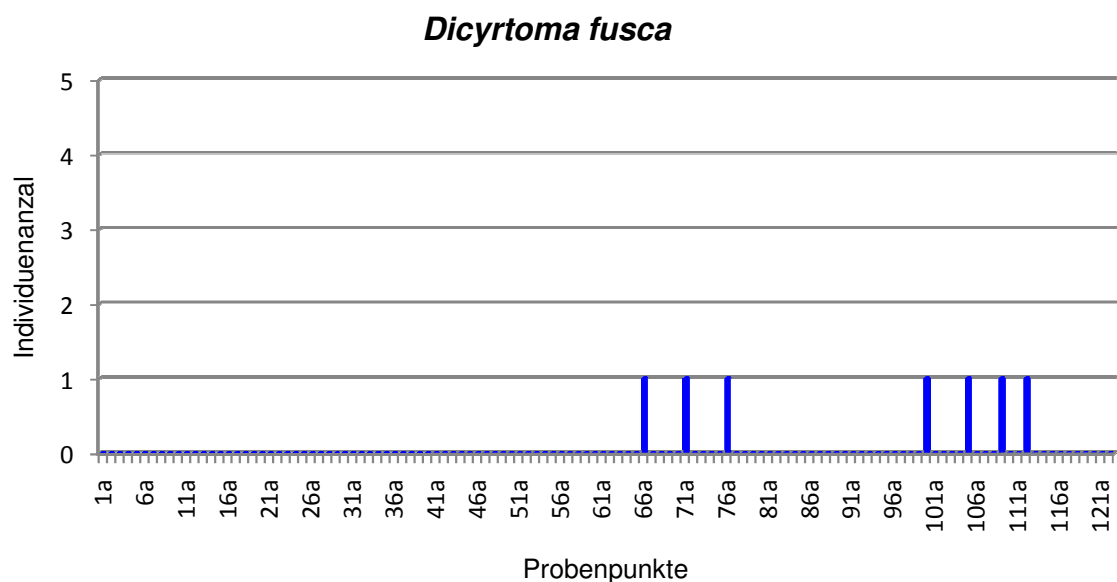


Abb. 14: Diagramm der Individuendichte von *Dicyrtoma fusca*



### 3.3.2 *Entomobrya juv.*

*Entomobrya juv.* (Abb. 15) ist innerhalb des gesamten Transektes vertreten, besonders häufig im ersten Abschnitt. Aus diesen Proben konnten 465 Exemplare extrahiert werden, aus denen des 2. Durchganges nur 87. Dennoch ist die Gattung mit insgesamt 552 gesammelten Tieren eine der häufigeren Vertreter im Untersuchungsgebiet. Über den gesamten Transekt betrachtet schwankt das Vorkommen stark, die größten Individuenzahlen befinden sich nahe dem Übergangsbereich beider Durchgänge. Die maximale Anzahl an Tieren beträgt 65 in Probe 59a, die in der Übergangszone liegt.

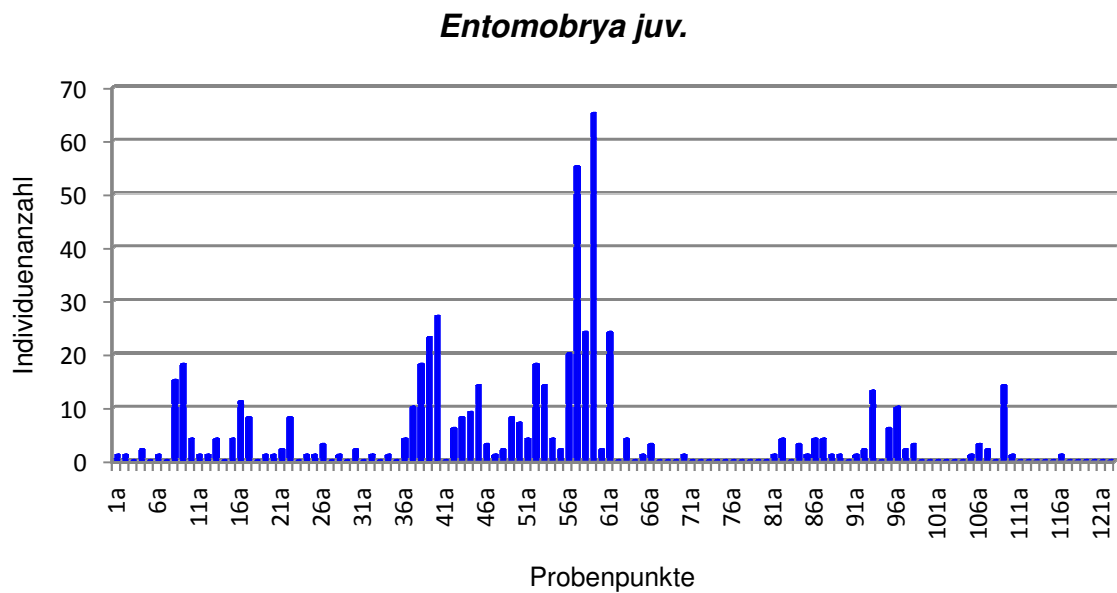


Abb. 15: Diagramm der Individuendichte von *Entomobrya juv.*

### 3.3.3 *Entomobrya multifasciata*

*Entomobrya multifasciata* (Abb. 16) hat ihren Verbreitungsschwerpunkt vor allem im 1. Transekt. Weitgehend durchgängig sind die ersten 22 Probenpunkte von der Art besiedelt worden, im weiteren Teil des ersten Transektes hingegen nur sporadisch. Im 2. Durchgang gibt es schließlich nur noch ein Vorkommen, und zwar Probe 86a.

*E. multifasciata* konnte im 1. Abschnitt 49-mal nachgewiesen werden. Mit einer maximalen Anzahl von 8 Tieren pro Probenpunkt zählt sie zu den weniger häufigen Vertretern im Untersuchungsgebiet. Der zweite Durchgang enthielt lediglich 2 Exemplare der Art.

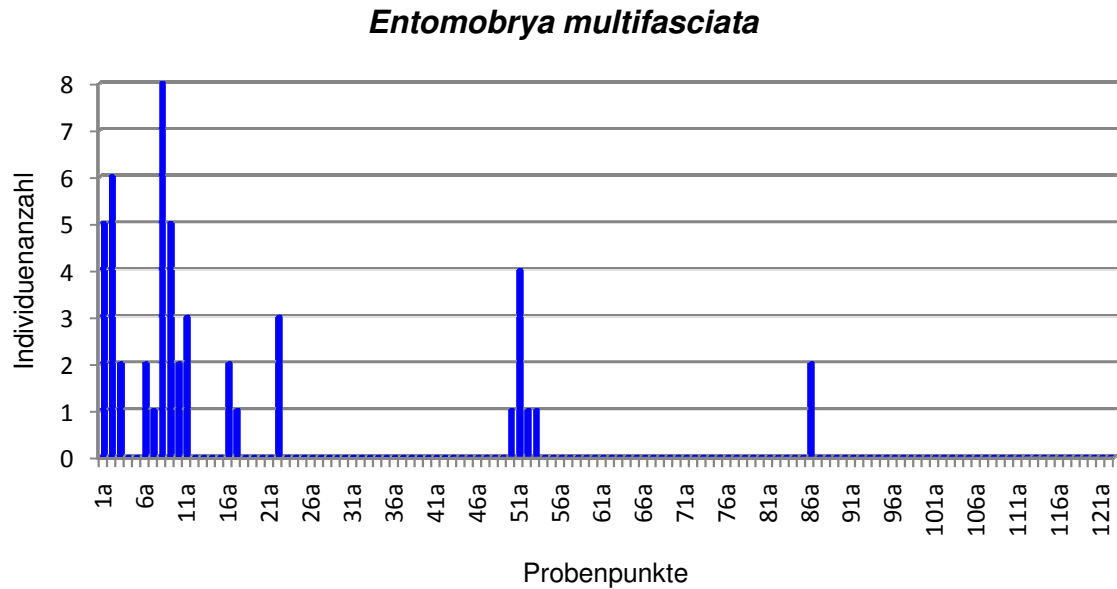


Abb. 16: Diagramm der Individuendichte von *Entomobrya multifasciata*

### 3.3.4 *Entomobrya nivalis*

*Entomobrya nivalis* (Abb. 17) kommt wie *E. multifasciata*, hauptsächlich im ersten Abschnitt vor und im 2. Durchgang nur noch sporadisch. Anders als *E. multifasciata* hat sie ihren Verbreitungsschwerpunkt nicht zu Beginn des Transektes, sondern eher in der Mitte bis hin zum Übergangsbereich zwischen dem ersten und zweiten Transekt. Insgesamt konnten etwa dreimal so viel Exemplare von *E. nivalis*, exakt 148, nachgewiesen werden wie von ihrer Gattungsverwandten. Sie verteilen sich mit 142 und 6 Tieren auf die Abschnitte 1 und 2. Die Maximalzahl der Art findet sich mit 13 Organismen in Probe 61a, die im Übergangsbereich liegt.

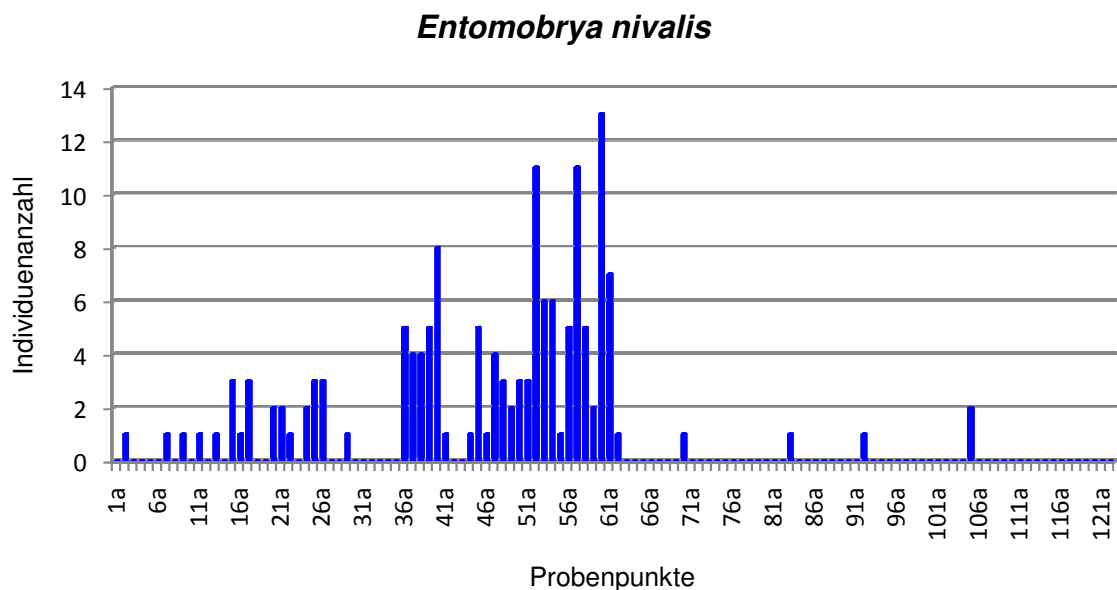


Abb. 17: Diagramm der Individuendichte von *Entomobrya nivalis*

### 3.3.5 *Folsomia fimetaria*

Von *Folsomia fimetaria* (Abb. 18) gibt es insgesamt nur 4 Nachweise, 3 davon im ersten Transektabschnitt. Jede Fundstelle ist nur mit jeweils einem Exemplar belegt, dies betrifft die Proben 4a, 30a, 44a und 69a.

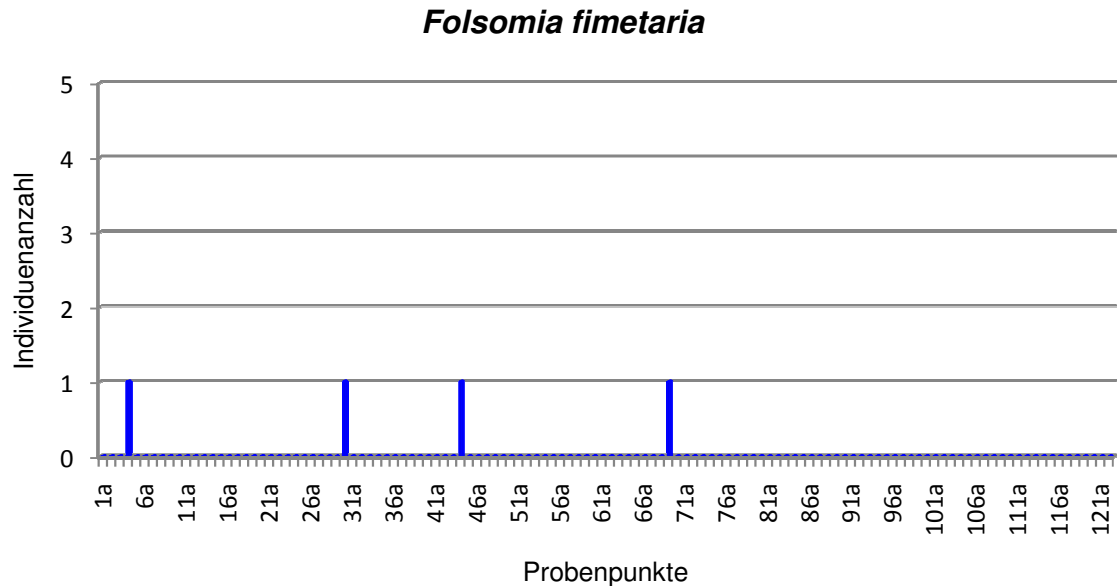


Abb. 18: Diagramm der Individuendichte von *Folsomia fimetaria*

### 3.3.6 *Isotomidae juv.*

Von *Isotomidae juv.* (Abb. 19) wurden 7 Exemplare im gesamten Untersuchungsgebiet erfasst, 5 davon im 2. Abschnitt. Die 2 Tiere des 1. Durchganges befanden sich im Probenpunkt 9a. In 84a, 100a und 102a war jeweils 1 Exemplar enthalten, in 113a hingegen 2 Tiere.

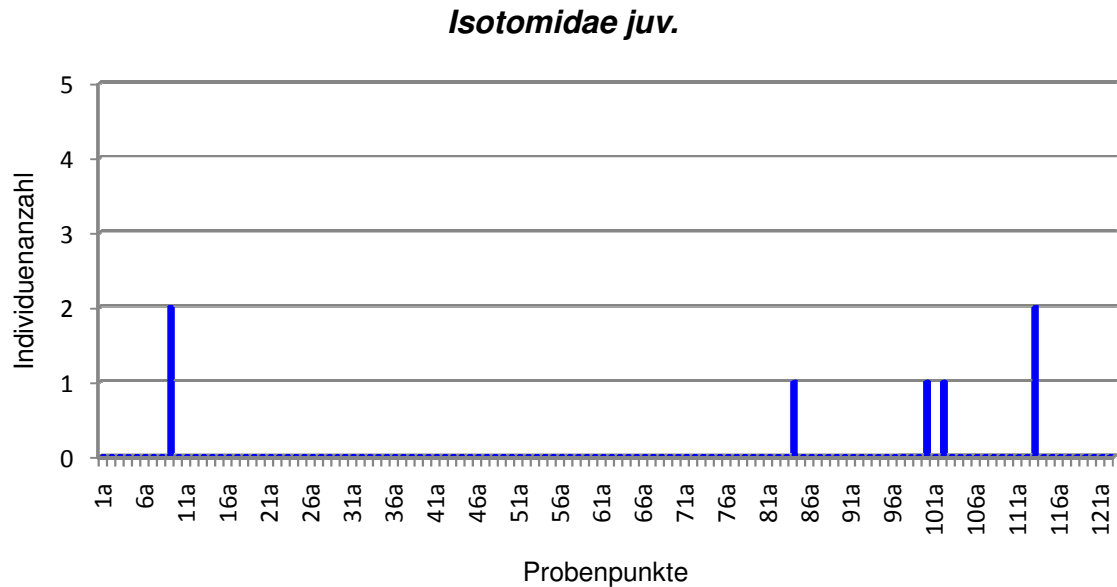


Abb. 19: Diagramm der Individuendichte von *Isotomidae juv.*

### 3.3.7 *Isotoma viridis* Gruppe

Die *Isotoma viridis* Gruppe (Abb. 20) hat ihre Fundstellen in beiden Transektabschnitten, insgesamt konnten 109 Exemplare aus den Proben extrahiert werden. Die Gesamtartenzahl verteilt sich etwa gleich auf beide Transekte, der 1. Abschnitt enthielt 51 Tiere und der 2. Abschnitt 58. Dabei bildet die *Isotoma viridis* Gruppe kein flächendeckendes Vorkommen, sondern nur kleinräumige Besiedlungsstellen. Die größten Häufigkeiten erreicht sie im 2. Durchgang mit 19 Exemplaren in Probe 89a.

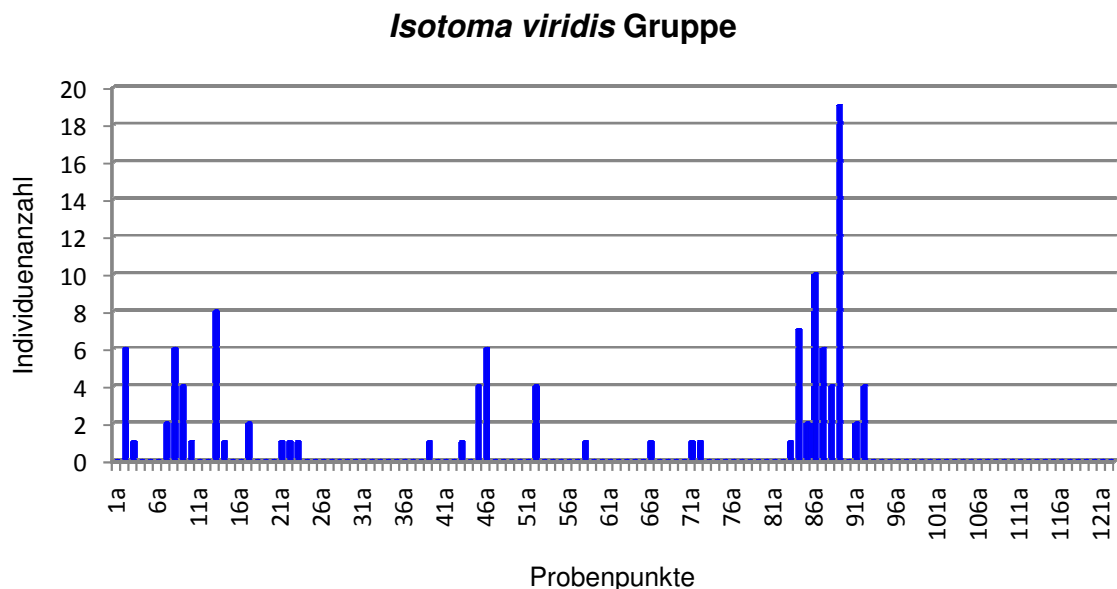


Abb. 20: Diagramm der Individuendichte von *Isotoma viridis* Gruppe

### 3.3.8 *Lepidocyrtus lanuginosus*

Von *Lepidocyrtus lanuginosus* (Abb. 21) konnten 56 Exemplare aus den Proben extrahiert werden, wobei sich alle Tiere auf den ersten Transektbereich beschränken. Die maximale Anzahl der Collembolenart befindet sich mit 12 Exemplaren in Probe 22a. Innerhalb des Transektes hat *Lepidocyrtus lanuginosus* 4 kleinere Schwerpunktvorkommen, von denen nur das 1. weiter ausgebreitet ist. Alle 4 Besiedlungsstellen liegen wenigstens 7 Probenpunkte voneinander entfernt, was 3,5 m entspricht.

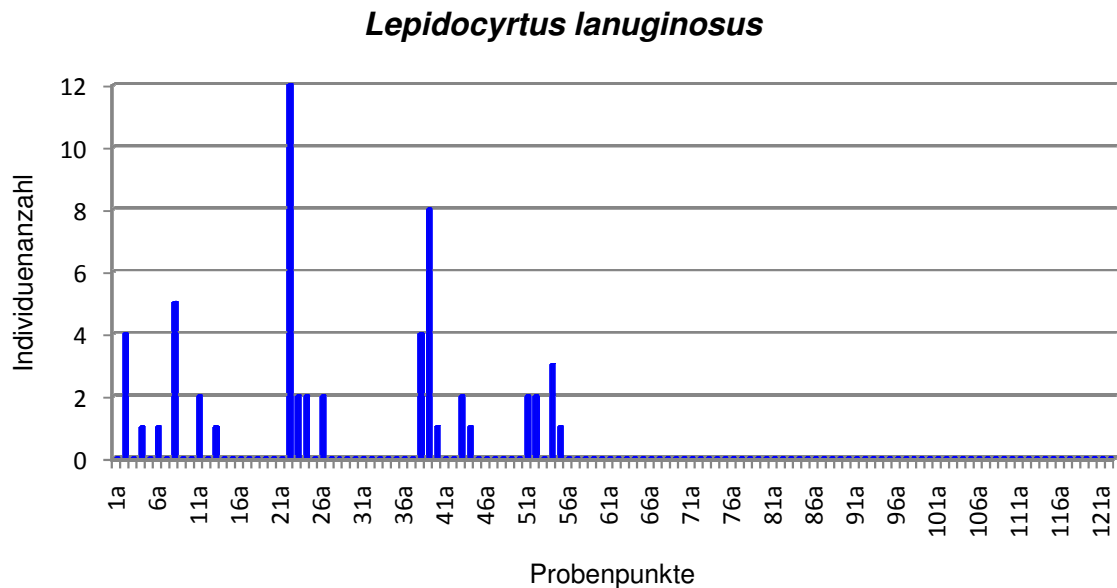


Abb. 21: Diagramm der Individuendichte von *Lepidocyrtus lanuginosus*

### 3.3.9 *Mesaphorura macrochaeta*

*Mesaphorura macrochaeta* ist die mit Abstand häufigste vorkommende Collembolenart im Untersuchungsgebiet. Da aber zwischen beiden Transekten sehr große Unterschiede bei den Bestandsdichten bestehen, wurden beide Bereiche getrennt, um auch kleinere Vorkommen gut sichtbar werden zu lassen.

Im 1. Durchgang (Abb. 22) kommt die Collembolenart nahezu in allen Probenpunkten vor, jedoch sehr unterschiedlich verteilt. Bis 24a erfolgte die Besiedlung durch die Art eher lückenhaft und mit weniger als 10 Tieren je Messpunkt. Zwischen 25a und 31a liegen die 3 größten Vorkommen mit 23 Exemplaren in 25a, 30 Tieren in 30a und 48 Stück in 31a. Anschließend nehmen die Bestandszahlen wieder ab, es sind nur noch höchstens 16 in einer Probe, und die Bevölkerungsdichte sinkt. Die Gesamtindividuenzahl des 1. Durchganges beträgt 232 Exemplare.

Im 2. Transekt (Abb. 22) kommt *Mesaphorura macrochaeta* auf eine deutlich größere Zahl von Individuen als im 1. Abschnitt. Bis 83a kommt die Art noch in eher geringeren Dichten vor, maximal 37 Tiere in 70a. Danach jedoch erreicht die Collembolenart in 84a mit 732 Exemplaren ihr größtes Vorkommen. In der nächsten Probe folgt noch ein weiterer größerer Bestand mit 260 Tieren sowie 672 Individuen in 91a. Nach diesen 3 Maxima sinkt das

Bestandsniveau mit wenigen Ausnahmen wieder auf unter 100 Tiere. Insgesamt enthielt dieser Transektabschnitt 3328 Exemplare.

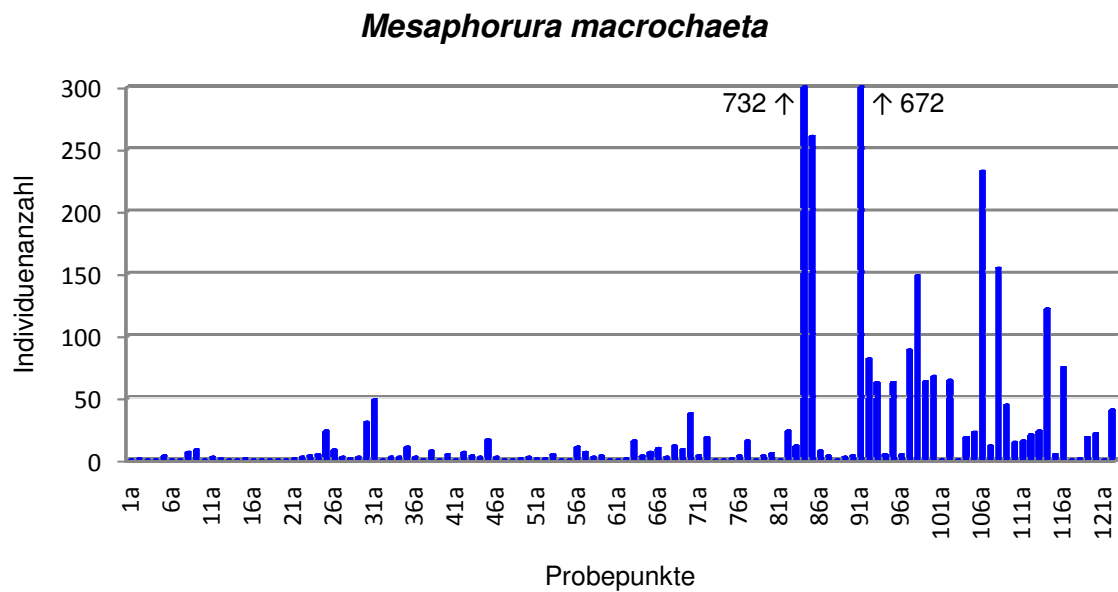


Abb. 22: Diagramm der Individuendichte von *Mesaphorura macrochaeta*

### 3.3.10 *Oncopodura spec.*

Von *Oncopodura spec.* (Abb. 23) gibt es lediglich 2 Exemplare entlang des gesamten Transektes, beide im 1. Durchgang. Diese wurden in den Proben 2a und 40a gefunden.

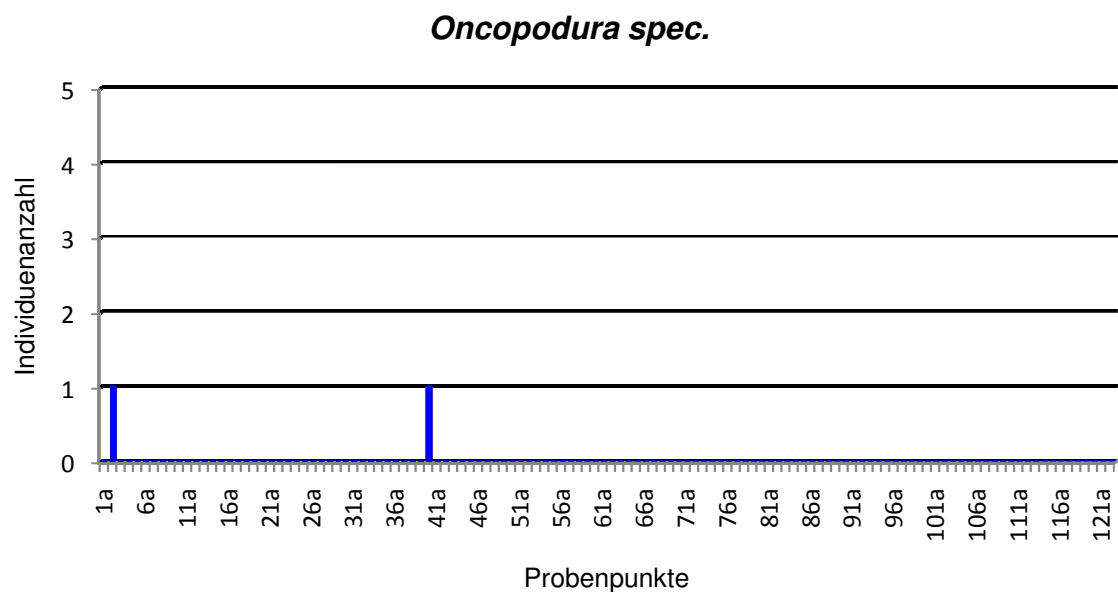


Abb. 23: Diagramm der Individuendichte von *Oncopodura spec.*

### 3.3.11 *Parisotoma notabilis*

Von *Parisotoma notabilis* (Abb. 24) konnten in allen 122 Probenpunkten insgesamt 365 Tiere extrahiert werden, davon 224 im ersten Transekt und 141 im zweiten. Im ersten Abschnitt sind es vor allem, mit wenigen Ausnahmen, eher kleinere Vorkommen, die sich auf den gesamten Bereich verteilen. Im zweiten Abschnitt hingegen verteilen sich die Exemplare sehr konzentriert auf nur wenige Fundpunkte mit größerer Individuendichte als im ersten Transekt. Die maximale Anzahl von *Parisotoma notabilis* beträgt 73 Exemplare im Probenpunkt 40a. Nach dem Probenpunkt 93a konnte *Parisotoma notabilis*, mit Ausnahme von einem Exemplar gegen Ende des Transektes, nicht mehr nachgewiesen werden.

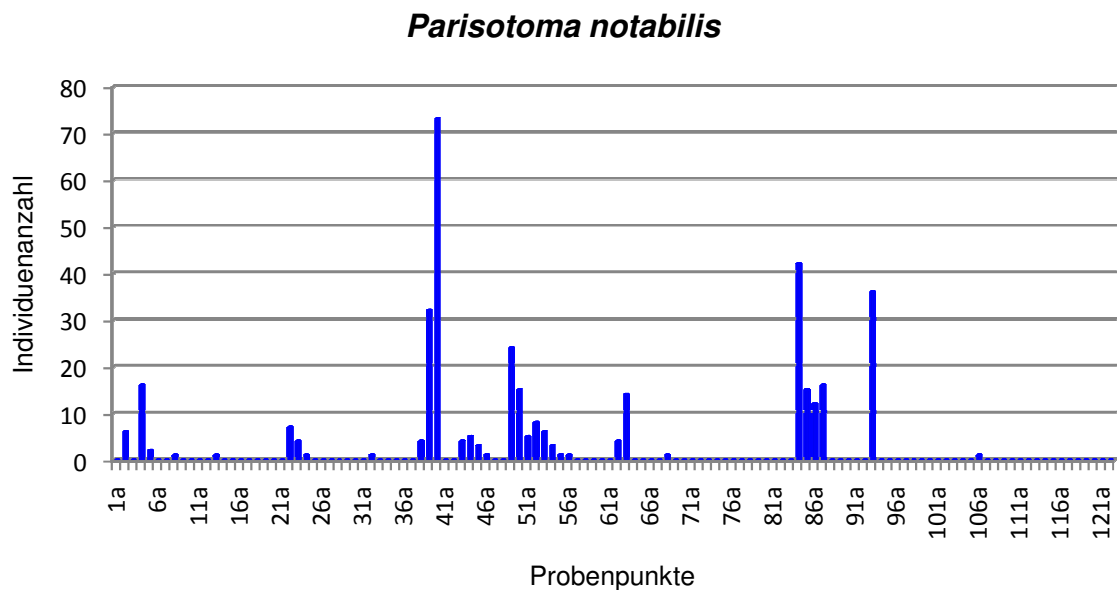


Abb. 24: Diagramm der Individuendichte von *Parisotoma notabilis*

### 3.3.12 *Poduridae juv.*

Von *Poduridae juv.* (Abb. 25) wurden im 1. Abschnitt 7 Tiere und im 2. Durchgang 10 Exemplare gefunden. An allen Standorten, mit einer Ausnahme, wurde jeweils nur ein Exemplar je Probe nachgewiesen. Einzig und allein in Probe 50a befanden sich 3 Tiere. Zwischen 86a und 107a konzentriert sich ein Großteil der Exemplare des 2. Transektes.

### *Poduridae juv.*

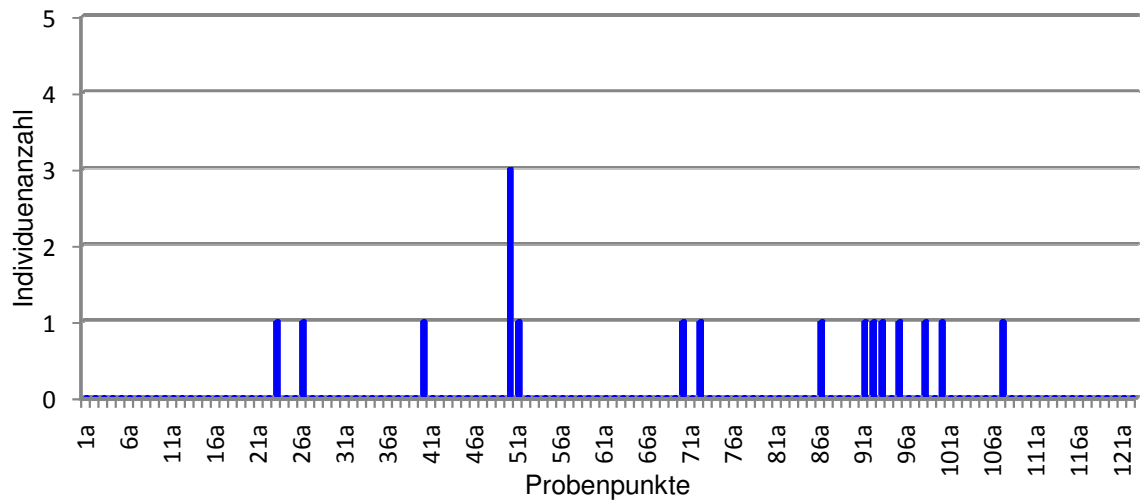


Abb. 25: Diagramm der Individuendichte von *Poduridae juv.*

### 3.3.13 *Proisotoma minuta*

*Proisotoma minuta* (Abb. 26) ist im ersten Transekt nur sehr spärlich vertreten mit gerade einmal 4 Exemplaren. In dem darauffolgenden 30 m-Abschnitt konnten 148 Tiere gefunden werden. Auffällig dabei ist, dass sich nahezu alle Exemplare in einem bestimmten Bereich direkt nachfolgend an den Übergangsbereich beider Transekte angesiedelt haben, und zwar den Abschnitt zwischen den Proben 68a-94a. Die zwei größten Vorkommen dieses Kernbereiches der Verbreitung liegen im Punkt 72a mit 18 Exemplaren und in 77a mit 22 Individuen. Sich anschließend an diesen Bereich treten nur noch 3 kleinere Vorkommen mit weniger als 5 Tieren pro Probe auf.

### *Proisotoma minuta*

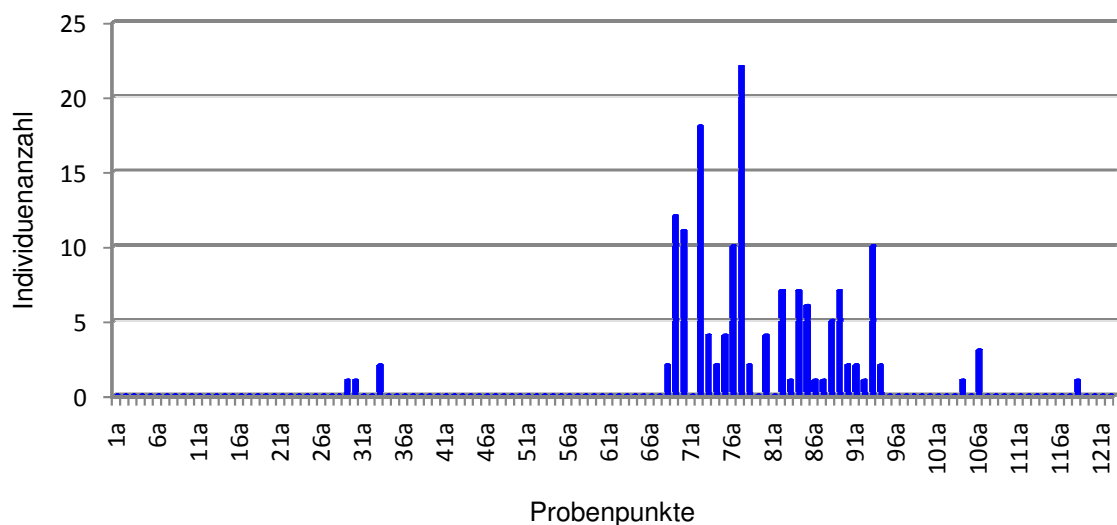


Abb. 26: Diagramm der Individuendichte von *Proisotoma minuta*



### 3.3.14 *Protaphorura juv.*

Von *Protaphorura juv.* (Abb. 27) gibt es nur 3 Fundorte, wobei alle im 1. Transektabschnitt liegen. Die 5 Tiere verteilen sich auf zwei Vorkommen mit je zwei Exemplaren in 39a und 43a sowie einem Fund mit nur einem Exemplar in 26a.

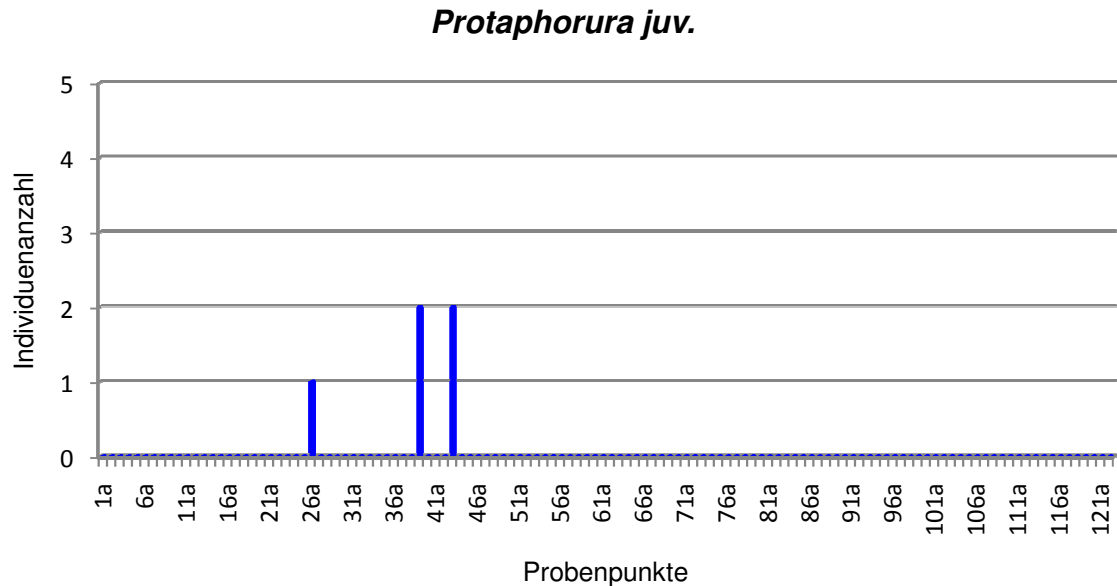


Abb. 27: Diagramm der Individuendichte von *Protaphorura juv.*

### 3.3.15 *Pseudachorutes spec.*

*Pseudachorutes spec.* (Abb. 28) ist im 1. Durchgang nicht nachgewiesen worden. Die drei gefundenen Tiere waren entlang des 2. Transektes angesiedelt und verteilen sich auf die Vorkommen von 1 und 2 Tieren in den Probenpunkten 73a und 75a.

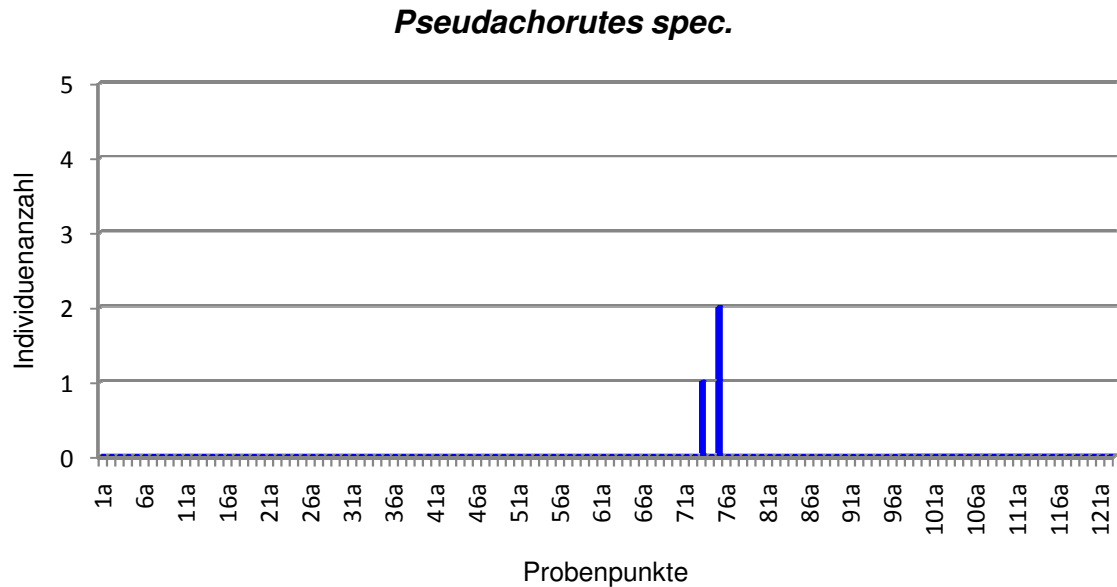


Abb. 28: Diagramm der Individuendichte von *Pseudachorutes spec.*

### 3.3.16 *Sminthurinus aureus*

Von *Sminthurinus aureus* (Abb. 29) konnten entlang des Transektes 12 Exemplare gefunden werden, wovon sich 10 auf den ersten Abschnitt verteilen und 2 auf den zweiten. Zwischen 22a und 24a existiert ein zusammenhängendes Vorkommen der Art von 4, 1 und 2 Tieren in den 3 zusammenhängenden Proben. In 40a konnte *Sminthurinus aureus* noch einmal mit 3 Exemplaren nachgewiesen werden. Im 2. Durchgang befinden sich die zwei Individuen in 98a und 108a.

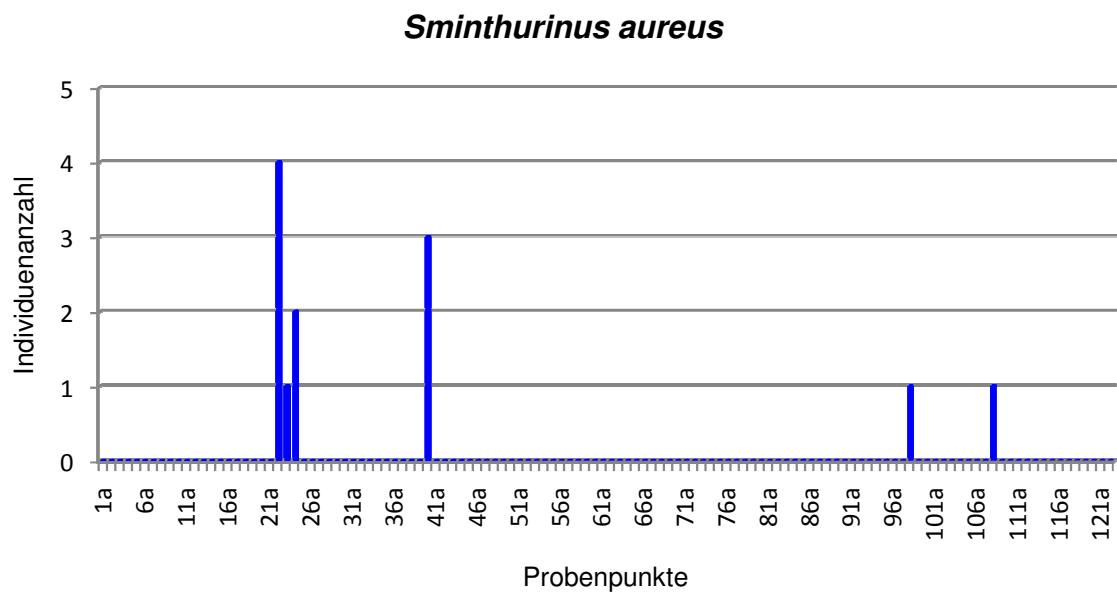


Abb. 29: Diagramm der Individuendichte von *Sminthurinus aureus*

### 3.3.17 *Sminthurus viridis*

Von *Sminthurus viridis* (Abb. 30) gibt es nur zwei Vorkommen mit jeweils einem gefundenen Exemplar, beide innerhalb des ersten 30 m-Abschnittes. Enthalten waren sie in den Proben 25a und 28a.

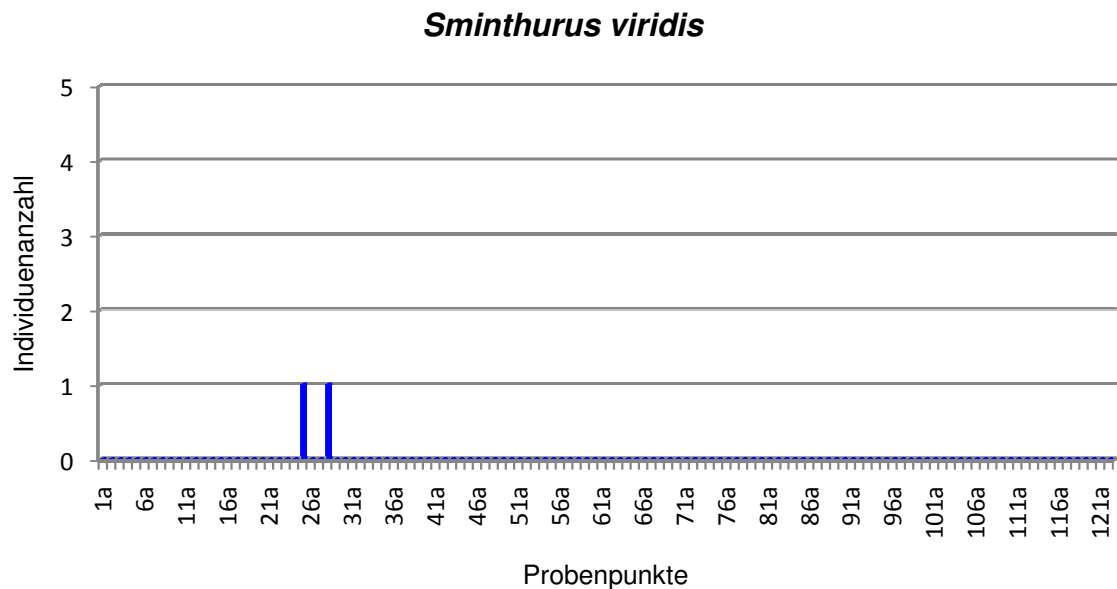


Abb. 30: Diagramm der Individuendichte von *Sminthurus viridis*

### 3.3.18 *Sphaeridia pumilis*

*Sphaeridia pumilis* (Abb. 31) fand sich entlang des Transektes nur im 2. Durchgang mit 13 extrahierten Tieren. Alle Standorte liegen, mit einer Ausnahme, dicht beieinander und schließen sich an den Übergangsbereich beider Transekte an. Das größte Vorkommen des Kugelspringers innerhalb dieses konzentrierten Bereiches sind 4 Individuen in Punkt 84a. Im Anschluss folgt nur der bereits erwähnte isolierte Fund von 3 Exemplaren in 109a.

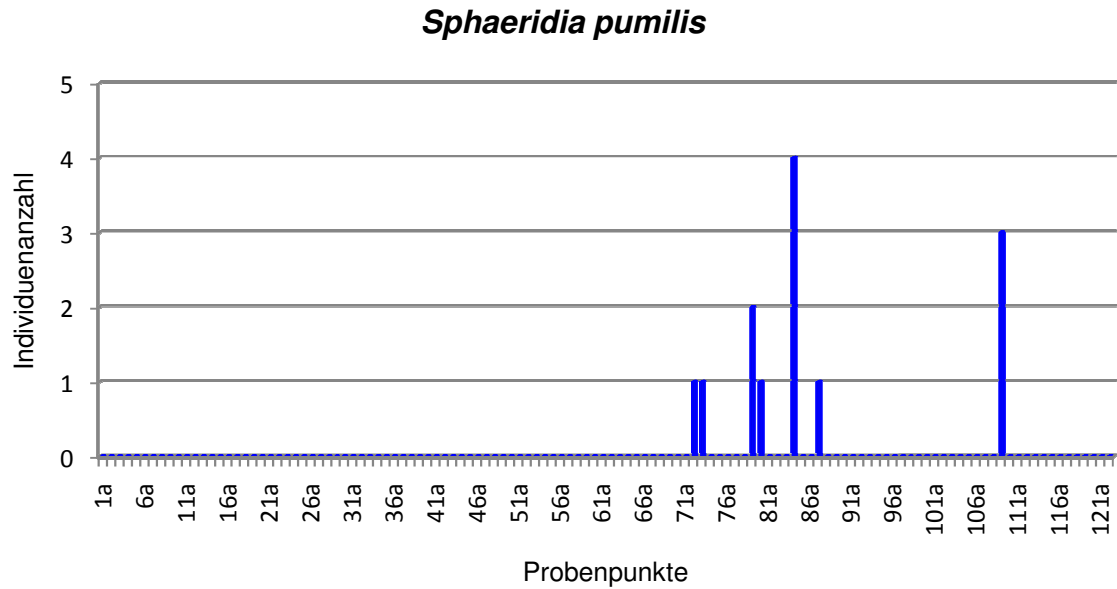


Abb. 31: Diagramm der Individuendichte von *Sphaeridia pumilis*

### 3.3.19 *Xenylla maritima*

Von *Xenylla maritima* (Abb. 32) stammen alle 52 gefundenen Exemplare aus dem 2. Durchgang. Dieser Abschnitt wird von der Art, abgesehen von einigen Lücken, durchgängig besiedelt. Aber sie bildet dort keine großen Populationen aus, die höchste extrahierte Individuenzahl aus einer Probe beträgt 12 Exemplare in 92a.

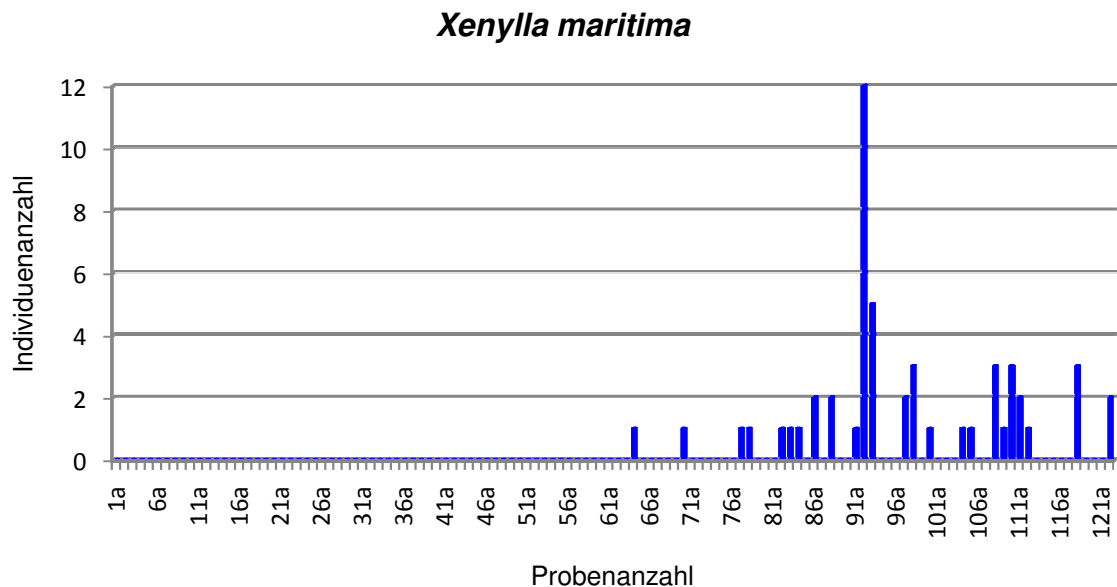


Abb. 32: Diagramm der Individuendichte von *Xenylla maritima*

## 4 Diskussion

### 4.1 Methoden

Um die Entwicklung einer Collembolengemeinschaft eingehend zu studieren, sind Langzeitstudien dafür besonders geeignet. Gerade in einer sich stetig entwickelnden Umwelt wie der der Bergbaufolgelandschaft ist dies von Bedeutung. Die im Zuge der Boden- und Vegetationsentwicklung auftretenden und sich abwechselnden Artenzusammensetzungen entwickeln sich über einen langen Zeitraum hinweg. Eine Untersuchung wie bei der vorliegenden Arbeit kann immer nur ein kleines Zeitfenster dieser Entwicklung aufzeigen.

Die Variante, einen Transekt entlang des Übergangsbereiches zwischen gewachsenem Land und Kippenbereich zu legen, hat sich für diese Arbeit als positiv erwiesen. Sie gab einen guten Querschnitt des Artenspektrums an, deren Entwicklungen im gesamten Verlauf so hinreichend verfolgt werden konnten. Dennoch können auch mit diesem Verfahren nicht alle Arten Berücksichtigung finden. Ein kürzerer Abstand zwischen zwei entnommenen Proben ermöglicht zwar genauere Aussagen über Arten- und Individuendichten, ist aber bei einer Abwägung des Aufwand- und Nutzenverhältnisses nicht in Betracht zu ziehen. Der hier gewählte Probenabstand war ausreichend klein, um anhand des Artenspektrums und der Bodenparameter einen Übergang zum Kippensubstrat festzustellen.

Als besonders ausschlaggebend für die Beprobungszeitpunkte erwiesen sich die örtlichen Witterungsverhältnisse. Da in den Offenlandbereichen des Tagebaugebietes die Verdunstung großen Einfluss auf die Bodenoberfläche ausübt, ist sie besonders bei der Wahl der Probenentnahmezeitpunkte zu beachten. Ein tagebaulich beeinflusster Boden trocknet auch innerhalb kurzer Zeiträume ohne Regenereignisse deutlich schneller aus als ein natürlicher Boden. Unterschiedliche Feuchteverhältnisse während der Probenentnahmen verändern sehr deutlich Bodenparameter wie den Wassergehalt sowie die Artenzusammensetzung innerhalb der Collembolenzönose. Diese Tatsache erschwert vergleichende Betrachtungen mehrerer Untersuchungen. Ein weiterer Nachteil von trockenen Verhältnissen in Tagebaugebieten ist, dass unter diesen Umständen eine Entnahme von Bodenmaterial merklich erschwert wird. Das mit Hilfe eines Stechzylinders entnommene Substrat rieselt häufig sofort wieder heraus, bedingt auch durch den hohen Sandanteil. Dieser Metallring zeigt ferner seine Nachteile bei der Entnahme von Boden für die Organismenextraktion. Viele Bodenökologen vertreten die Ansicht, dass eine Probe für das Austreiben der Collembolen ungestört sein sollte. Ihrer Meinung nach erschweren beschädigte Poren den Individuen das Verlassen des Bodens. Die MACFAYDEN-Extraktion mit einer schrittweisen Temperaturerhöhung bis auf 40 °C erweist sich generell als gutes Mittel für die Extraktion, obwohl vor allem einige xerotherme Arten, die typisch für Tagebaugebiete sind, erst bei größerer Wärmezufuhr beginnen zu wandern.

Für eine Bestimmung der extrahierten Arten erfolgte für diese Arbeit eine Fixierung der Tiere mit Hilfe einer Einbettflüssigkeit auf Objektträger bei vorheriger Bleichung in Milchsäure. Das hat zwar den Vorteil, dass sie bei kühler Lagerung dauerhaft haltbar sind, eine genaue Bestimmung bis auf die Art wird dadurch hingegen erschwert. Hinzu kommt, dass sich bei sehr warmen Temperaturen die Einbettlösung stark verflüssigt und somit eine Fixierung der Tiere nicht mehr gewährleistet ist. Eine Alternative stellt die Lagerung der Collembolen in Alkohol dar. Für eine Bestimmung werden diese dann entnommen und in Milchsäure gebleicht. Ohne eine Fixierung ist die Betrachtung der Tiere von allen Seiten möglich, auf

diese Weise können wichtige Bestimmungsmerkmale wie Tergit, Behaarung oder Postantennalorgan besser erkannt werden (pers. Kommentar Dr. Schulz, Senckenberg Museum für Naturkunde in Görlitz). Nach der Untersuchung können die Tiere aber nicht weiter aufbewahrt werden. Welche der beiden Methoden die bessere Variante für eine Bestimmung darstellt, ist auch unter Experten weithin umstritten, jede von ihnen hat ihre Befürworter. Nach der Fixierung der Collembolen auf Objektträgern wurden Fotos angefertigt. Eine Bestimmung der Arten anhand von Bildern schafft zwar gute Vergleichsmöglichkeiten zwischen mehreren Individuen, stellt aber keine 100%-ige Sicherheit für eine gewählte Zuordnung dar.

Auch bei der Bestimmung der Bodenparameter im Labor können gewisse Ungenauigkeiten auftreten. Die große Menge an Probenmaterial erhöht die Wahrscheinlichkeit, dass durch routinierte Tätigkeiten einzelne Fehlmessungen aufgetreten sind, so wie dies auch durch die Labortechnik passieren kann.

Die bei den Laboranalysen bestimmte Kalkmenge im Bodenmaterial stellt nur Schätzwerte dar. Aufgrund der Heterogenität des Substrates im Untersuchungsgebiet würde eine exaktere Bestimmung der Karbonatkonzentration im Boden genauere Aussagen ermöglichen, zumal sich gezeigt hat, dass diese sich besonders auf die Entwicklung des pH-Wertes auswirkt. Mögliche, im Zuge der Melioration durchgeführte Einarbeitungen von Kalk sowie Kraftwerksasche, finden im Braunkohlenplan der Schlabendorfer Felder kaum Beachtung.

Für die mittels SPSS erstellten statistischen Auswertungen ist ein kritischer Umgang diesbezüglich von Bedeutung. Eine solche Datenaufbereitung darf nicht losgelöst vom Kontext betrachtet werden. Entscheidend hierfür sind immer die Rahmenparameter und die richtige Interpretation der Darstellungen.

Um den bereits eingangs genannten längerfristigen Blick auf die Collembolenzönose zu erhalten, wurden Untersuchungen von KRAWCZYNSKI (2007) herangezogen und mit denen der vorliegenden Arbeit verglichen. Zwar lassen sich damit entscheidende Änderungen herausarbeiten, eine 100% ige Übertragung der Gegebenheiten ist jedoch nicht möglich. Dass beide Untersuchungen im selben Gebiet stattfanden, ändert nichts an der Tatsache, dass die gewählten Transekte nicht exakt aufeinanderliegen und sich dadurch bedingt die Umweltfaktoren in gewissem Masse unterscheiden. Beide Untersuchungen fanden zu verschiedenen Jahreszeiten statt, die von KRAWCZYNSKI (2007) entfielen auf das Frühjahr und die der vorliegenden Arbeit auf die Zeiträume Sommer und Herbst.

## **4.2 Bodenparameter**

### **4.2.1 pH-Wert und Kalkgehalt**

Beide Diagramme des pH-Wertes zeigen eine deutliche Aufteilung in 2 Bereiche, in den des gewachsenen Landes und den der Kippe. Ab dem Probenpunkt 67a mit einem Wert von 6,57 treten tendenziell stärkere Schwankungen in den Messwerten auf, wodurch man auf den Übergang zum Tagebauggebiet schließen kann. Die beiden durchgeführten Nachweise des pH-Wertes führten unabhängig voneinander zu exakt derselben Abgrenzung in beide Bereiche. Die Heterogenität des Substrates im Kippenbereich kommt durch die Verkipfung des Abraummateri als zustande. Stellenweise konnte im Boden befindliches Pyrit mit dem

eingearbeiteten Kalk bzw. dem für diese Region typischen mergelhaltigen Gestein reagieren. Diese basischen Elemente sind unter Umständen in der Lage, starke Säuregehalte im Boden abzupuffern, sodass der Gesamtverlauf des pH-Wertes nicht wie bei anderen ehemaligen Tagebaugebieten üblich, durchgehend stark versauerte Bereiche zeigt. Insgesamt gesehen zeigt der durch den Tagebau beeinflusste Abschnitt einen Schwankungsbereich von 4,84 (Probe 94a) bis 7,58 (Probe 69a).

Auch ein Abgleich von Kalk- und pH-Wert-Verlauf führt zu dem Ergebnis, dass im Übergangsbereich zwischen den beiden Durchgängen der Grenzbereich zwischen gewachsenem und tagebaulich beeinflusstem Gebiet liegt.

In der Gegenüberstellung zeigen pH-Wert und Kalkgehalt einen nahezu identischen Verlauf, d.h. im Detail, dass ein sich absenkender pH-Wert mit einer geringeren Kalkmenge einhergeht sowie im Umkehrschluss ein hoher pH-Wert auf einen größeren Kalkgehalt hinweist.

#### **4.2.2 Wassergehalt**

Der 1. Durchgang weist im Mittel einen Wassergehalt von 3,37 % auf, im 2. Abschnitt hingegen liegt der Durchschnitt höher, d.h. bei 4,07 %. Auf den ersten Blick erscheint es ungewöhnlich, dass die Bodensubstanz des verkippten Materials mehr Wasser enthält als der tagebaulich unbeeinflusste Boden. Tatsächlich sollte der gewachsene Boden in der Lage sein, einen wesentlich höheren Wassergehalt innezuhaben, schließlich wurde durch den Verkipppungsprozess das Bodengefüge zerstört und der Porenraum muss sich erst wieder durch Organismenaktivitäten und physikalische Bodenprozesse bilden. Legt man jedoch die Daten der nächstgelegenen Wetterstation, Doberlug-Kirchhain, zugrunde, lässt sich dieses abweichende Verhalten erklären. Die erste Probenahme fiel auf den 12.06.2007. Laut meteorologischer Station lag die durchschnittliche Temperatur an diesem Tag bei 19,3 °C. Außerdem gab es bis zu diesem Zeitpunkt im Monat Juni noch keinerlei Niederschlagsereignisse [VOIGT 2008]. Der Boden musste demnach zu diesem Zeitpunkt durch die Wärme und die mangelnde Feuchtigkeit stark ausgetrocknet sein. Die zweite Beprobung fand am 27.10.2007 statt, die Temperatur lag bei 9 °C. Anders als im Sommer hat es sowohl am selben Tag (0,2 l/m<sup>2</sup>) als auch einige Tage zuvor, z.B. am 21.10.2007 4,1 l/m<sup>2</sup>, geregnet [VOIGT 2008]. Es ist davon auszugehen, dass noch Wasser des Regenereignisses im Boden gespeichert war und durch die niedrigeren Temperaturen weniger Verdunstung aufgetreten ist. Aufgrund dessen, dass die Temperatur- und Niederschlagswerte der beiden Beprobungszeitpunkte stark voneinander abweichen, können aus den Daten des Wassergehaltes keine aussagekräftigen Schlüsse bezüglich des Grenzbereiches zum Tagebaugebiet und den unterschiedlichen Eigenschaften beider Böden gemacht werden. Deshalb erscheint es sinnvoll unter diesem Aspekt die Ergebnisse der maximalen Wasserhaltekapazität zu berücksichtigen, welche bessere Aussagemöglichkeiten über die Bodeneigenschaften zulassen.

Der Kurvenverlauf des Wassergehaltes im Gesamten zeigt sich sehr wechselhaft, weshalb besonders die Minima und Maxima von Interesse sind. Durchaus ist eine Analyse der Werte innerhalb eines Durchganges möglich, um darin z.B. Schwankungsbereiche der Messwerte zu erkennen. Der größte Wert des 1. Durchganges beträgt 11,27 % (46a) und der kleinste 0,4 % (60a) – ein bedeutender Unterschied für eine Gesamtlänge von 30 m. Die zweite Beprobung

zeigt ähnlich starke Schwankungen. Das Maximum beträgt hier 11,17 % und das Minimum 1,78 %. Die Kurve des 2. Bereiches, also die des Tagebaugebietes, verläuft insgesamt gleichmäßiger und bis auf wenige Ausnahmen auf einem niedrigeren Niveau. Es ist anzunehmen, dass nach der bergbaulichen Beeinflussung die Porenbildung im Boden noch in der Entwicklung ist. Der 1. Durchgang zeigt einen durchweg heterogenen Verlauf. Hier ist die Porengröße viel stärker durch Bodenorganismen und Pflanzenbewuchs geprägt, sodass sie sich je nach der Aktivität und den Prozessen vor Ort stark abhebt.

Im 2. Abschnitt sticht das Maximum in 114a als auffälliger Wert heraus. An dieser Stelle befinden sich nur geringe Humusanteile, verursacht durch die spärliche Vegetationsdecke, und die maximale Wasserhaltekapazität beträgt dort Null. Bei dem Hochpunkt des 2. Durchganges im Punkt 114a handelt sich somit um einen Ausreißer.

#### **4.2.3 Maximale Wasserhaltekapazität**

Bezüglich der maximalen Wasserhaltekapazität zeigen sich deutliche Unterschiede zwischen beiden Durchgängen. Im ersten Abschnitt beträgt das durchschnittliche Speichervermögen 34,08 % und im zweiten Bereich 11,35 % im Mittel. Die höheren Wassergehalte im zweiten Transekt sind also ausschließlich auf die vorherrschende Wetterlage zurückzuführen. Der Kippenboden ist demnach nicht in der Lage mehr Wasser zu halten bzw. generell mehr Wasser in seinen Poren zu speichern.

Die Wasserkapazität des 1. Durchganges ist grundsätzlich viel höher und weist stärkere Schwankungen auf, was wiederum auf die naturgemäße Heterogenität eines natürlich gewachsenen Bodens zurückzuführen ist. Die Werte des 2. Durchganges bewegen sich auf einem niedrigeren Level und die Schwankungen fallen weniger stark aus, da sich der Boden des Kippenbereiches in sich noch sehr homogen verhält und das Bodengefüge wenig ausgebildet ist. Die Untersuchungen bestätigen, dass ein natürlich gewachsener Boden besser in der Lage ist Wasser zu speichern und das in größeren Mengen.

#### **4.2.4 Humusgehalt**

Vergleicht man den Verlauf der Wasserkapazität mit dem des Humusgehaltes, so stellt man gewisse Ähnlichkeiten fest. Es muss also ein Zusammenhang zwischen dem Wasserspeichervermögen und dem Gehalt an organischer Substanz im Boden bestehen [BACHMANN 1988 u. 1995 in WÖLLECKE 2006]. Ein Vergleich beider Diagramme zeigt: Steigt die Wasserkapazität an, so liegt auch der Humusgehalt höher. Die Menge an organischer Substanz muss für die Wasserspeicherung in Sandböden wie die des Tagebaugebietes eine bedeutende Rolle spielen. Im 1. Durchgang beträgt der Humusgehalt im Mittel 5,27 % und im 2. Abschnitt durchschnittlich 1,09 %. Wie zu erwarten enthält der Boden des natürlich gewachsenen Landes wesentlich mehr Humusanteile als der des Kippenbereiches, dennoch treten im Verlauf starke Schwankungen auf. Das Abraummateriale enthält, bis auf wenige Ausnahmen, gleichbleibend wenig organisches Material. Diese Schwankungen in Form von lokalen Extrema im 1. Durchgang wie z.B. bei 4a oder 45a können zufällige Ansammlungen von organischem Material sein oder einer fehlerhaften



Messung zugrundeliegen, da diese Probenpunkte nicht außergewöhnlich viele Collembolen enthalten sowie keine übermäßige Vegetationsbedeckung aufweisen.

#### **4.2.5 Nitratgehalt**

Die Untersuchungen der Nitratmenge haben gezeigt, dass innerhalb des gesamten Transektes nur kleine Schwankungen auftreten. Dies belegt die für beide Bereiche errechnete Standardabweichung, welche jeweils 0,6 beträgt (siehe Tab. 11). Zwischen dem 1. und 2. Durchgang gibt es nur sehr geringe Unterschiede, daher lassen sich anhand des Nitrates keine Aussagen zu dem Grenzbereich zwischen Tagebau- und Nichttagebaugebiet machen. Die Abweichung zwischen Minimum und Maximum fällt dementsprechend gering aus.

#### **4.2.6 Ammoniumgehalt**

Im Mittel beträgt der Ammoniumgehalt im 1. Abschnitt  $1,160 \mu\text{g} / \text{g TS}$ , beim 2. Durchgang sind es nur noch  $0,070 \mu\text{g} / \text{g TS}$ . Dass in den ersten Proben mehr Ammonium enthalten ist, liegt vor allem daran, dass es u.a. durch Abbau von Humus bereitgestellt wird. Daher treten auch vor allem zu Beginn und gegen Ende des 1. Durchganges besonders hohe Werte auf, parallel zu den Peaks des Humusgehaltes. Da im Kippenbereich wie bereits schon erwähnt, der Gehalt an organischer Substanz gering ist, kann auch nur wenig Ammonium durch deren Abbau bereitgestellt werden. Ein weiterer Grund, warum dort nur geringe Werte erzielt wurden, ist die Tatsache, dass die spärliche Vegetation gegen Ende des Transektes eine Auswaschung des Nährstoffes erleichtert. Die Messwerte im Gesamten zeigen, dass Ammonium eine klare Trennung zwischen gewachsenem Land und Tagebaugebiet erkennen lässt.

#### **4.2.7 Phosphorgehalt**

Wie zuvor bei Ammonium sind auch die Phosphorgehalte im 1. Durchgang sehr inhomogen verteilt, sie haben einen großen Schwankungsbereich und sind insgesamt wieder höher angesetzt als die des 2. Abschnittes. Dort sinkt der Verlauf stark ab und die Probenergebnisse unterscheiden sich kaum noch voneinander. Der Übergang zum Tagebau ist damit auch hier gut zu erkennen. Die durchschnittlichen Gehalte an Phosphor liegen im 1. Abschnitt bei  $4,378 \text{ mg P}_2\text{O}_5 / 100\text{g TS}$  und im 2. bei  $3,484 \text{ mg P}_2\text{O}_5 / 100\text{g TS}$  und sind demnach erkennbar unter dem Mittelwert des gewachsenen Landes. Hohe Phosphorgehalte im 1. Durchgang gehen mit höheren Mengen an organischer Substanz einher, da ein Großteil des Phosphors organisch gebunden vorliegt bzw. dort eine höhere Aktivität von Mikroorganismen vorhanden ist. Ihnen kommt besonders in Wurzelnähe von Pflanzen eine besondere Bedeutung zu. Außerdem schützt die Vegetationsdecke vor Erosion [GISI 1990].

#### 4.2.8 Leitfähigkeit

Der 1. Abschnitt zeigt im Vergleich zum 2. höhere und stärker variierende Werte. Diese Unterschiede lassen sich auch anhand der Mittelwerte erkennen. Diese liegen bei 130,1  $\mu\text{S} / \text{cm}$  und 47,1  $\mu\text{S} / \text{cm}$ . Zwischen der Leitfähigkeit und den Ammonium-, Nitrat- und Phosphorwerten besteht ein direkter Zusammenhang. Da der Salzgehalt in den Messungen stets einen Wert von Null ergeben hat, ist ein Einfluss von Salzionen auf die Leitfähigkeit auszuschließen. Vergleicht man nun die Diagramme der 3 Nährstoffe mit dem von der Ionenleitfähigkeit, so fällt auf, dass z.B. ein Anstieg des Phosphorgehaltes mit dem Anwachsen der Leitfähigkeit einhergeht. Die Leitfähigkeit fällt immer dann gering aus, vor allem im Kippenbereich, wenn keiner der 3 Pflanzennährstoffe dort seinen Hochpunkt hat.

#### 4.3 Zeigerwerte

Im folgenden Abschnitt werden die wesentlichen Ergebnisse der Zeigerwerte zusammenfasst, interpretiert und Vergleiche zwischen ausgewählten Pflanzenarten und Bodenparametern hergestellt.

Da alle für die Betrachtung der Reaktionszahl infrage kommenden Pflanzenarten in den ersten 66 Probenpunkten nur sehr vereinzelt vorkommen, geben diese keine eindeutigen Aussagen zu diesem Zeigerwert wieder. In dem sich anschließenden Abschnitt hingegen tritt *Festuca ovina subsp. tenuifolia* vermehrt auf. Als Säurezeiger bestätigt die Art den Verlauf des pH-Wertes wie im Diagramm ersichtlich wird (Abb. 34).

### Säurebetrachtung

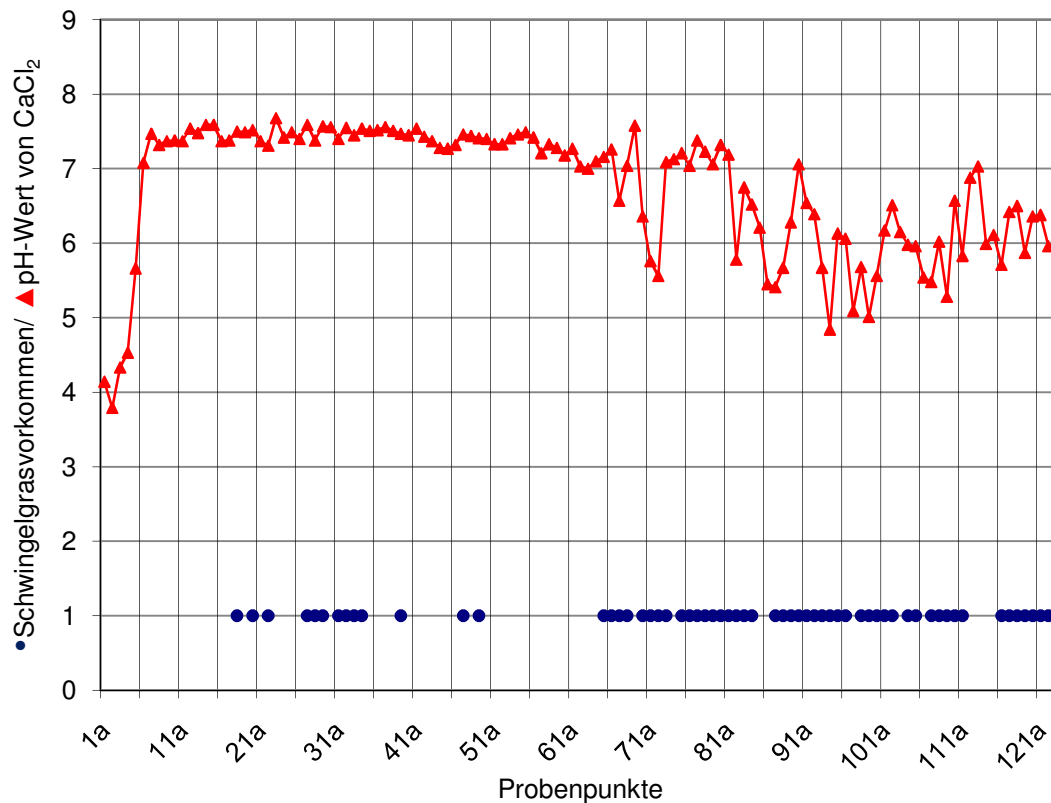


Abb. 33: Diagramm der Säurebetrachtung

Aufgrund der Ergebnisse der Feuchtezahl kann man nicht auf den Wassergehalt schließen. Die Ergebnisse der chemischen Analysen zeigen einen sehr heterogenen Verlauf, der durch die Feuchtezahlen nicht bestätigt wird. So ist es nicht der Fall, dass bei sehr hohen Wassergehalten *Tanacetum vulgare* und bei niedrigen Werten *Corynephorus canescens* oder *Vicia lathyroides* auftreten wie das Diagramm deutlich zeigt (Abb. 35). Die einzige Erkenntnis ist, dass ein durchschnittlicher Wert von 4 für die Feuchtezahl vorhanden ist.

### Feuchtigkeitsbetrachtung

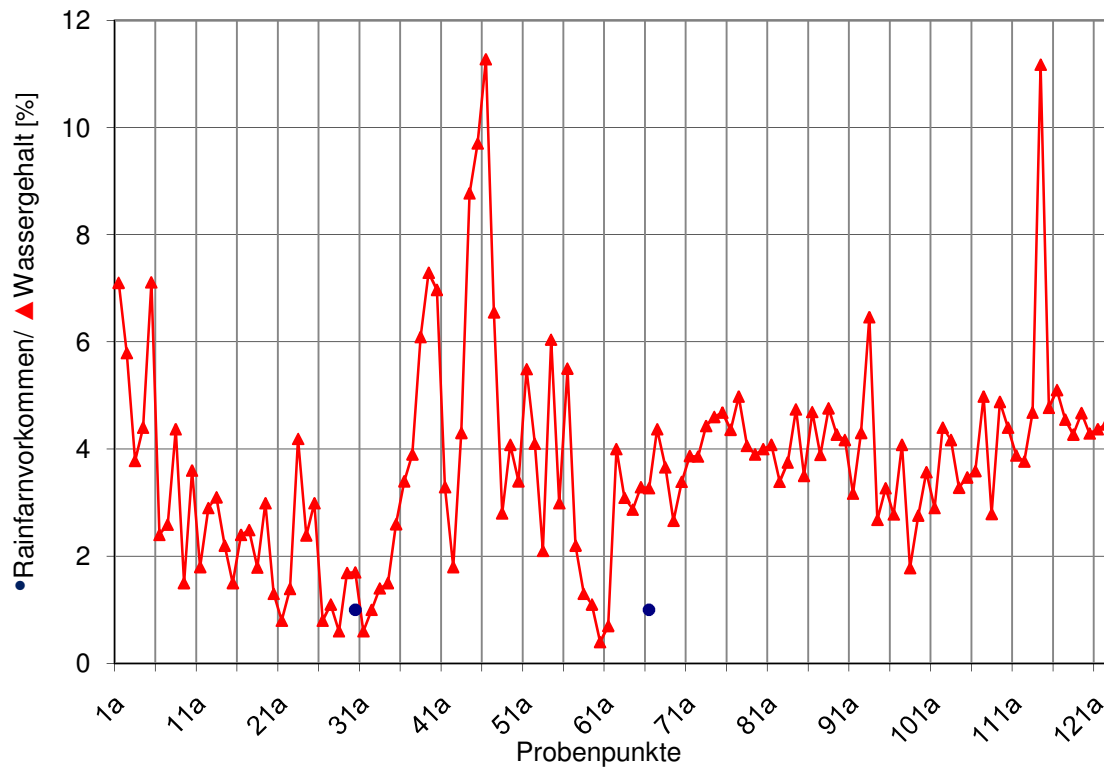


Abb. 34: Diagramm der Feuchtigkeitsbetrachtung

Bezüglich des Wärmegefälles, d.h. der Temperaturzahl, lässt sich zusammenfassend sagen, dass alle vorhandenen Pflanzen entsprechend ihrer klimatischen Vorlieben vorkommen.

Da alle Arten, mit Ausnahme von *Festuca ovina subsp. tenuifolia* und *Calamagrostis epigejos*, recht selten im gesamten Transekt vorkommen, sind nur diese beiden für die Auswertung der Stickstoffzahl entscheidend. Vergleicht man den Ammoniumgehalt und mit dem Vorkommen von *Calamagrostis epigejos* in einem Diagramm (Abb. 36), so lässt sich erkennen, dass das Gras überwiegend im 1. Abschnitt (bis 61a) parallel zu den höheren  $\text{NH}_4$ -Gehalten zugegen ist. Im 2. Transektabschnitt sinken die Ammoniumgehalte im Boden so wie sich auch das Vorhandensein der Pflanze reduziert. Ein genau umgekehrtes Verhalten zeigt der Vergleich des Diagrammes von Ammonium und *Festuca ovina subsp. Tenuifolia* (Abb. 37). Zu Beginn sind die Nährstoffgehalte im Boden noch höher und das Gras fehlt weitgehend. Erst später, wenn die  $\text{NH}_4$ -Mengen geringer sind, tritt *Festuca ovina subsp. tenuifolia* sehr häufig auf. Anhand beider Gräserarten kann der Verlauf des Ammoniums im Boden sehr gut verfolgt werden. *Festuca ovina subsp. tenuifolia* tritt überwiegend bei geringen Werten und *Calamagrostis epigejos* bei höheren Konzentrationen auf. Auf Grund dessen, dass Nitratstickstoff im Verlauf sehr homogen ist, lassen sich diese Betrachtungen dort nicht anstellen.

### Stickstoffbetrachtung 1

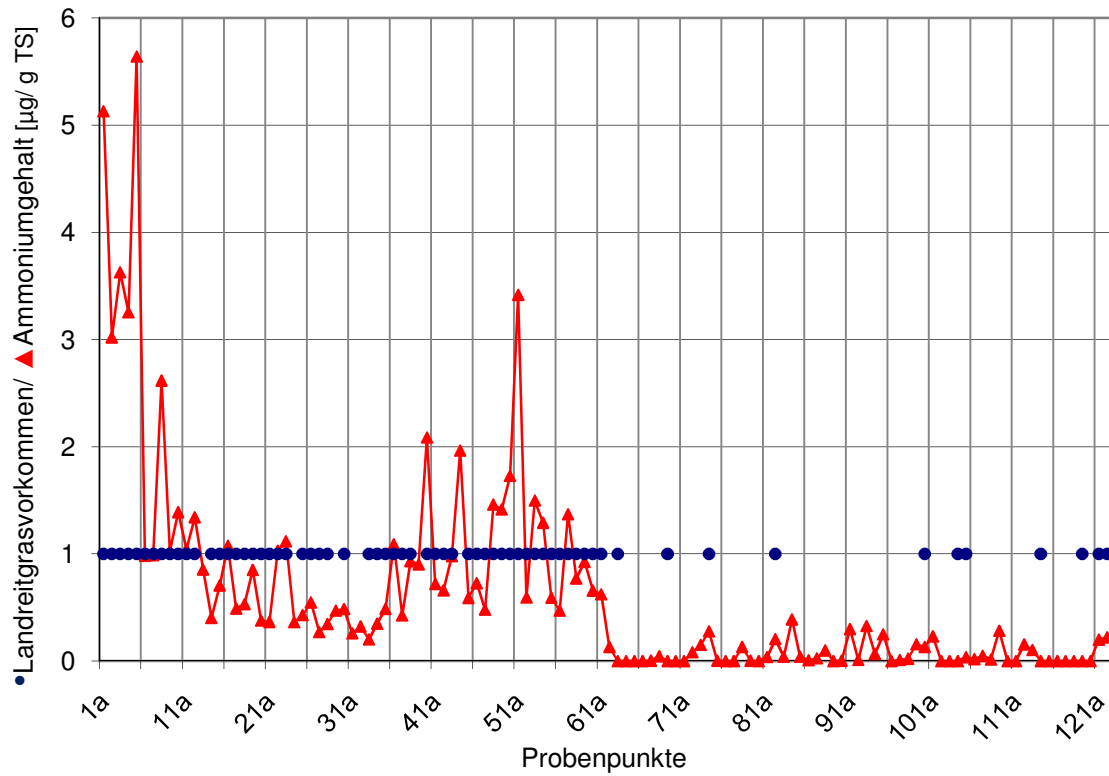


Abb. 35: Diagramm der Stickstoffbetrachtung 1

### Stickstoffbetrachtung 2

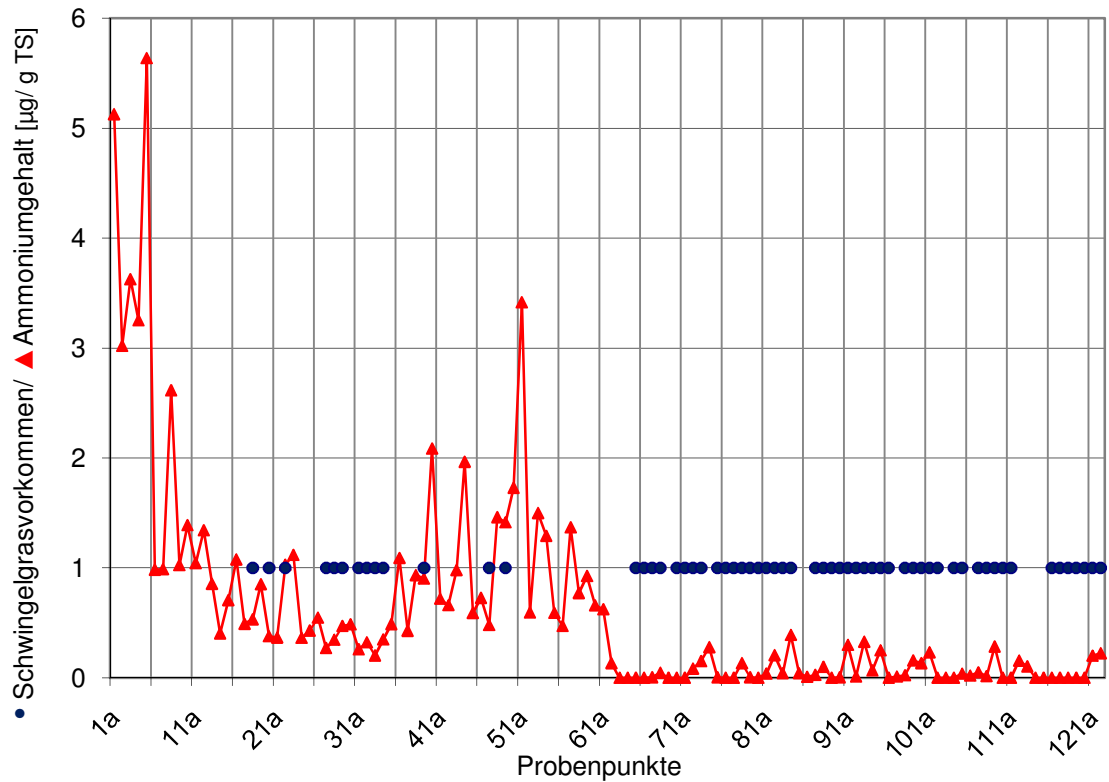


Abb. 36: Diagramm der Stickstoffbetrachtung 2

Eine Auswertung der Ergebnisse der Salzzahl erzielen dieselben Aussagen wie die chemischen Analysen, mit anderen Worten, der Boden zeigt bei beiden das Fehlen der Salzionen an.

## 4.4 Collembolen

### 4.4.1 Vorkommende Arten

#### 4.4.1.1 *Dicyrtoma fusca*

*Dicyrtoma fusca* konnte im Untersuchungsgebiet als eine Art des Kippenbereiches ausgemacht werden, im ersten Abschnitt des gesamten Transektes fand sich kein einziges Exemplar. Aber auch im 2. Durchgang bildete der Kugelspringer keine großen Populationen aus. Möglicherweise besiedelt er das gewachsene Land, konnte aber aufgrund kleinster Individuendichten mit dem Probenraster nicht erfasst werden. Dort, wo *Dicyrtoma fusca* gefunden wurde, handelte es sich um Bereiche mit Schwingelgrasbeständen und einer Kieferstreuauflage. Auch an Stellen, die zu großen Teilen ohne Vegetation sind, war der Springschwanz zugegen. Aufgrund der geringen Fangzahlen lassen sich jedoch daraus keine Tendenzen für bevorzugte Aufenthaltsorte erkennen. Bei den wenigen Standorten kann es sich unter Umständen um Zufallsfunde handeln.

DUNGER (2001) beschreibt die bis zu 2 mm groß werdende Art als meist nahe dem Boden vorkommend, vor allem in der Streu, auf totem Holz, auf Pilzen oder unter Steinen. Generell besiedelt sie feuchte oder nasse Habitate von Wiesen und Wäldern sowohl im Tiefland als auch bis in alpine Regionen bis in 1500 m Höhe. Das nur kleine Vorkommen von *Dicyrtoma fusca* im Untersuchungsgebiet ist unter Umständen auf die mangelnde Feuchtigkeit im Substrat zurückzuführen. GISIN (1960) grenzt das Verbreitungsgebiet zwischen Sibirien und Lappland bis Spanien ein. Er beschreibt die Art als in den lichten Wäldern des Tieflandes vorkommend, die zwar verbreitet, aber nicht häufig ist. In der Schweiz ist *Dicyrtoma fusca* in xerothermen Wäldern [GISIN 1948 in DUNGER 2001] gefunden worden, andererseits aber auch in Hochmooren [HALE 1966 in DUNGER 2001]. Andere Funde hingegen zeigen sie als Bewohner feuchter Wälder, vor allem nachgewiesen im Norden von Nordirland [FJELLBERG 1980]. STIERHOF (2003) konnte bei seinen Untersuchungen keine Korrelation zwischen der Art und dem potentiellen Lebensraum Wald feststellen wie auch zu keinen von ihm analysierten Umweltvariablen. Neben unterschiedlichen Auffassungen in der Literatur über bevorzugte Habitate, gibt es auch Abweichungen bei der Frage, wann die Art am häufigsten auftritt. DUNGER (2001) geht davon aus, dass adulte Tiere überwiegend im Sommer und Herbst auftreten. Andere wissenschaftliche Untersuchungen konnten stattdessen ein Minimum im Sommer nachweisen [STIERHOF 2003].

Von *Dicyrtoma fusca* treten einige Farbvariationen auf, die komplett gelblich grau oder dunkel violett mit blassem Kopf oder Abdomen sein können [DUNGER 2001]. Die Art lebt hemiedaphisch [STIERHOF 2003], d.h. sie vollzieht im Laufe eines Tages Vertikalwanderungen und ist somit nicht nur an Streuauflage oder Oberboden gebunden. Diese Art ist möglicherweise troglphil oder troglloxen, was bedeutet, dass sie Höhlen als komplementäres Habitat bevorzugt oder, dass sie diese als Lebensraum gar nicht einnimmt

und stattdessen dort nur eingeschleppt wurde [MASSOUD & THIBAUD 1973 in DUNGER 2001; SCHULZ 1994 in DUNGER 2001]. Bezüglich ihrer Kälteresistenz verträgt sie höchstens -2 °C, optimal entwickelt sich die Art bei Temperaturen von 15-25 °C [MÜLLER 1965].

#### **4.4.1.2 *Entomobrya juv.***

*Entomobrya juv.* ist ein Vertreter, der sowohl das gewachsene Land als auch den Kippenbereich besiedelt. Besonders häufig ist er aber nur im ersten Abschnitt, der den gewachsenen Bereich repräsentiert. In der Mehrzahl aller Fälle wurde *Entomobrya juv.* im gewachsenen Land an Stellen mit Landreitgrasbeständen gefunden, in der verkippten Erde oft unter Kiefern und deren Streu. Auf Flächen mit vermehrten Rohbodenstellen zeigt sie sich kaum und nur in sehr geringen Bestandszahlen. Dass *Entomobrya juv.* vorzugsweise auf gewachsenem Land höhere Individuendichten erreicht, ist nicht verwunderlich. Schließlich ist sie als epigäisch lebende Collembola an Vegetation und Streuschicht gebunden. MÜLLER (1965) beschreibt *Entomobrya*-Arten als Vertreter, die sich schon früh auf abgestorbenem Material ansiedeln und trockene Bodenstreu bearbeiten. Des Weiteren sieht er Entomobryiden als charakteristische Vertreter der Oberfläche an, die auf eine hohlraumreiche Bodenoberfläche angewiesen sind. Dies deckt sich durchaus mit den Untersuchungen, da der erste Transektabschnitt sich durch mehr entwickelte Vegetation und Strukturelemente wie Totholz auszeichnet.

Die Vertreter der Gattung *Entomobrya* sind zwar generell gut voneinander zu unterscheiden und zeichnen sich besonders durch ihre farbigen Zeichnungsmuster aus [FJELLBERG, 1980], jedoch ist dieses Merkmal bei den Juvenilstadien noch nicht vollständig ausgeprägt. Aufgrund dessen konnte keine eindeutige Zuordnung zu einer Art erfolgen. Sehr wahrscheinlich gehört *Entomobrya juv.* aber zu den beiden anderen, im Untersuchungsgebiet aufgetretenen Entomobryiden, den Vertretern *E.nivalis* und *E. multifasciata*.

#### **4.4.1.3 *Entomobrya multifasciata***

*Entomobrya multifasciata* bevölkert in der Mehrheit nur wenige Meter am Anfang des Transektes. Im Kippenbereich hat sie nur noch ein Vorkommen. Möglicherweise siedelt *E. multifasciata* vom angrenzenden Wiesenbereich aus schrittweise in die Richtung des ehemaligen Tagebaus. Dass dort kaum Exemplare gefunden wurden, spricht für die für die Art ungünstigen Bedingungen in Form von Kiefernbaumen. Dort wo *E. multifasciata* hingegen vorkommt, ist überwiegend niedrigere Vegetation vorherrschend. So wachsen dort überwiegend Bestände von Landreitgras und Moos, *Brachythecium rutabulum* und lagern Ansammlungen von Totholz.

Möglicherweise liegt die Gesamtartenzahl dieses Vertreters noch etwas höher als hier wiedergegeben wurde, da einige juvenile Tiere in diese Gruppe hineingehören. Des Weiteren sind sich Wissenschaftler nicht einig darüber, ob *E. multifasciata* eine eigenständige Art ist, oder doch nur eine Farbvariation von *Entomobrya nivalis* [FJELLBERG 1980]. GISIN (1960) hat bereits früh festgestellt, dass beide Arten, abgesehen vom Zeichnungsmuster auf dem Rücken, völlig identisch sind. Er berichtet weiter, dass in Teilen von Nordamerika Bestände existieren,

die Übergangsformen von *E. nivalis* darstellen. Aufgrund dessen sehen sich einige Experten veranlasst, *E. multifasciata* nicht als eigenständige Art anzuerkennen. Auf der Grundlage, dass diese Farbvarianten nur auf dem amerikanischen Kontinent auftreten und bei der Bestimmung der Exemplare ebenfalls von zwei verschiedenen Arten ausgegangen wurde, soll dies die Grundlage für diese Untersuchung sein.

Die bis zu 1,5 mm großen Tiere unterscheiden sich von *E. nivalis* durch ihre Rückenzeichnung, die seitlichen Längstreifen haben in der Regel keine Verbindung zu den breiten Querstreifen. Außerdem grenzt sich die Art durch ihre rötlich braune Pigmentierung ab. Nachgewiesen werden konnte sie vor allem in Laubstreu und Baumstümpfen [FJELLBERG 1980]. WERMBTER (1999) bezeichnet sie als Pionierart im Wiesenstadium der Kippbereiche. Untersuchungen von KRAWCZYNSKI (2006) zeigten, dass *E. multifasciata* negativ zum Bestandsalter der Fläche korreliert. Das bedeutet, je weiter die Sukzession fortschreitet, umso mehr zieht sich die Art aus dem Gebiet zurück. Außerdem stellte sich heraus, dass sie auf Standorten mit spärlicher Vegetation oder gar Rohbodenstellen fehlt [KRAWCZYNSKI 2006]. Diese Aussage deckt sich mit den vorliegenden Untersuchungen, da *E. multifasciata* auch hier im zweiten Transektbereich, der spärlicher bewachsen ist, fehlt. Im Weiteren charakterisiert KRAWCZYNSKI (2006) die Art als Offenlandbewohner trockener Bereiche, die epigäisch lebt. Häufig anzutreffen ist *E. multifasciata* auch in tertiären Kohlesandkippen, offenen Habitaten und im frühen Stadium der Sukzession nach einem Feuer. Ferner siedelt sie in Eichenwäldern, Waldstreu, Baumstümpfen und lebt macrophytobiont [RUSEK 1995 in KRAWCZYNSKI 2006].

#### **4.4.1.4 *Entomobrya nivalis***

*Entomobrya nivalis* kommt schwerpunktmäßig im Bereich des gewachsenen Landes vor bis hin zum Übergang in die Kippe. Ab dort sinkt das Vorkommen rapide ab. Es ist demnach anzunehmen, dass *E. nivalis* im Kippenbereich keine größeren Populationen aufgebaut hat. Bezüglich der Vegetationsbedeckung ist die Art häufig im Bereich von Landreitgrasbeständen, aber auch in der Nähe von Kiefern angesiedelt. Stellen mit wenig oder fehlender Pflanzendecke werden sehr selten bevölkert.

Die bis zu 2 mm große Art zeigt ein variables Erscheinungsbild. Die Beschreibung ihrer Grundfarbe reicht von gelblich grün [FJELLBERG 1980] bis weißlich oder gelb [GISIN 1960]. Jedoch ist vor allem das dunkle Pigmentmuster sehr vielfältig oder stark reduziert [FJELLBERG 1980], was eine Abgrenzung zu *E. multifasciata* sehr erschwert. STIERHOF (2003) beschreibt die Art als Kosmopoliten, die den europäischen Kontinent nahezu flächendeckend besiedelt. GISIN (1960) schätzt ihr Vorkommen in Europa als sehr häufig ein, vor allem auf Gebüsch und Nadelbäumen. RUSEK (1995) KRAWCZYNSKI (2006) nennt Buchen- und Eichenwälder als bevorzugte Habitate, andere Berichte verallgemeinern die Aussage zu Wäldern und Gehölzen egal welcher Art [STIERHOF 2003].

*Entomobrya nivalis* gilt als häufigster Vertreter der Entomobryiden und als charakteristischer Bewohner der Bäume und Sträucher. Die Art ist das ganze Jahr über dort zu finden und verbringt offenbar auch den Winter über in Bäumen. Aufgrund dessen fallen die Fangzahlen in der Streuschicht oder auf dem Schnee eher gering aus. Dabei handelt es sich meist um durch Windeinwirkung herabgefallene Exemplare oder Tiere, die vor zu starker Trockenheit auf Gehölze geflüchtet sind [STIERHOF 2003]. STIERHOF (2003) empfiehlt daher zur Erfassung



von *E. nivalis* den Einsatz von Sammeldetektoren oder das Abklopfen von Bäumen. Für die vorliegende Untersuchung bedeutet das, dass während der Beprobung im Sommer viele Tiere womöglich den Gehölzbereich verlassen haben. Während der Herbstprobung war es hingegen sehr feucht und viele Tiere konnten mit der Bodenbeprobung nicht erfasst werden, da sie auf Bäumen siedelten. Möglicherweise erfolgt auch die Eiablage auf Bäumen und Sträuchern. *Entombrya nivalis* ist also ein Makrophytenbewohner, der bevorzugt an rauer, rissiger Borke siedelt, aber auch an Epiphyten wie Moosen und Flechten. Nicht selten sind die Tiere bis in den Kronenbereich hinauf anzutreffen [STIERHOF 2003].

Andere Untersuchungen im selben Gebiet zeigten, dass *E. nivalis* einen positiven Zusammenhang zu organischer Substanz, Wassergehalt, Wasserhaltekapazität und Ammoniumgehalt hat. Die Art korreliert ebenfalls mit einer besser entwickelten Vegetationsstruktur [KRAWCZYNSKI 2006]. Übereinstimmend zu beiden Untersuchungen wird *E. nivalis* Waldstandorten zugerechnet. TAMM (1986) in KRAWCZYNSKI (2006) ordnet die Art in das frühe Stadium der Sukzession nach einem Feuer ein. FJELLBERG (1980) sieht sie wie KRAWCZYNSKI (2006) vorzugsweise in trockenen Habitaten beheimatet. STIERHOF (2003) charakterisiert sie als xerotoleranten Vertreter, der jedoch an Bäumen die geschützte Seite des Stammes als Aufenthaltsort bevorzugt. KRAWCZYNSKI (2006) konnte die Art signifikant oft mit *Parisotoma notabilis* und tendenziell zusammen mit *Isotoma viridis* nachweisen.

Die epigäisch lebende *E. nivalis* gilt als mesophil [RUSEK 1995 in KRAWCZYNSKI 2006], sie verträgt also Temperaturen von 30-40 °C. MÜLLER (1965) hat ihre spezifische Kälteresistenz mit durchschnittlich bis zu -4 °C angegeben.

#### **4.4.1.5 *Folsomia fimetaria***

Von *Folsomia fimetaria* konnten nur Einzelexemplare nachgewiesen werden, sodass davon ausgegangen werden kann, dass die Art auf die Zönose des Untersuchungsgebietes nur wenig Einfluss nimmt. Die Art besiedelte auf der Fläche sowohl Landreitgrasbestände als auch Bereiche ohne Vegetationsbedeckung, nie jedoch direkt unter Bäumen. Aufgrund der geringen Zahl der Belege sind jedoch noch keine Tendenzen abzulesen.

DUNGER (2001) beschreibt die bis zu 1 mm große pigmentlose Art als ruderal und stickstoffliebend. Eine Düngung hat positive Effekte auf ihre Bestandszahlen. Im Weiteren schreibt er, dass sie auf fetten nitrophilen Wiesen mit Brennnesselbeständen (*Urtica dioica* L.) die am häufigsten zu findende Art sei. Andere Nachweise gibt es von Funden in sich zersetzender organischer Substanz [FJELLBERG 1980]. DUNGER (2001) sieht sie ebenfalls als zahlreichen Besiedler von sich abbauenden Stoffen wie etwa Dünger, Flußsandablagerungen oder Ufergeröll. Im Untersuchungsgebiet findet sich im Boden nur wenig Material, welches Zersetzungsprozessen unterliegt, wie etwa der organischen Substanz, weshalb *Folsomia fimetaria* dort deshalb keine großen Bestandsdichten hat. Untersuchungen von KRAWCZYNSKI (2006) zeigten ebenfalls einen signifikanten Zusammenhang der Art zu höheren Gehalten an organischem Material im Boden. Es besteht außerdem ein Bezug zu dem Bestandsalter der Fläche und besser entwickelter Vegetation sowie zu höheren Ammonium- und Wassergehalten. KRAWCZYNSKI (2006) konnte *Folsomia fimetaria* signifikant oft zusammen mit *Sphaeridia pumilis* und tendenziell zusammen mit *Isotoma viridis* und *Parisotoma notabilis* nachweisen. Sie gilt auch als Ubiquist, endogäisch lebend und alkalophil. Auch

ZERLING (1990) bescheinigt ihr eine breite ökologische Valenz, DUNGER (2001) fand sie hingegen selten in Gewächshäusern und in städtischen Böden.

Häufig taucht die Art auf Rekultivierungsflächen während der 2. Sukzessionsstufe, d.h. im 5. - 10. Jahr, in Deutschland auf [ZERLING 1991 in DUNGER 2001], andere Quellen berichten von einem Vorkommen im fortgeschrittenen Sukzessionsstadium [ZERLING 1990]. ZERLING (1990) charakterisiert *Folsomia fimetaria* als typischen Vertreter landwirtschaftlicher Flächen auf rekultiviertem Boden ab dem 6. Rekultivierungsjahr. Generell wird die Art als bezeichnender Bewohner von Wiesen und landwirtschaftlichen Flächen eingeordnet, in Wäldern findet man sie hingegen selten [DUNGER 2001]. MÜLLER (1965) fand sie an moosbewachsenen Baumstümpfen und in größeren Bodentiefen als es gewöhnlich andere Collembolen sind, nämlich in 10-20 cm Tiefe. Überdies hält sich *F. fimetaria* laut seinen Berichten in faulenden Substanzen unter anaeroben Bedingungen auf, da ihr Sauerstoffbedarf gering ist. Sie gilt ferner als typischer Bewohner der Rhizosphäre. Auch DUNGER (2001) fand sie in sich zersetzenden Pflanzenwurzeln, genauer gesagt auf Kippenflächen in Südsibirien, wo die Art predominant ist.

#### **4.4.1.6 *Isotomidae* juv.**

Auch bei Funden von *Isotomidae* juv. handelt es sich lediglich um Einzelnachweise. Da diese Juvenilstadien keine Furca besitzen und pigmentlos sind, leben sie mit großer Wahrscheinlichkeit endogäisch. 4 von 5 Fundstellen waren Standorte mit Kiefern bäumen, heruntergefallener Streu und vegetationsfreie Stellen.

#### **4.4.1.7 *Isotoma viridis* Gruppe**

Die *Isotoma viridis* Gruppe kommt sowohl in Abschnitten des gewachsenen Landes als auch in der Kippe vor, bei letzterer meiden die Tiere jedoch den letzten 15 m-Abschnitt, also Bereiche mit schütterer Vegetation. Auffällig ist, dass die *Isotoma viridis* Gruppe im gewachsenen Land an Stellen mit Landreitgrashorsten und überwiegend ohne Baumbewuchs siedelt und im Kippenbereich, wo diese kaum noch vorkommen, bei Schwingelgras- und Kiefernvegetation.

Die *Isotoma viridis* Gruppe gehört mit bis zu 6 mm Länge zu den größeren Vertretern der Collembolenfauna [DUNGER 2001]. Die Individuen dieser Gruppierung zeigen sich farblich sehr variabel; gewöhnlich sind sie grün, bläulich oder rötlich, manchmal haben sie auch deutliche dunkle Zeichnungsmuster [GISIN 1960]. FJELLBERG (1980) wie auch viele andere Experten sehen daher *Isotoma viridis* möglicherweise als einen Komplex aus mehreren Arten an.

Die *Isotoma viridis* Gruppe ist in ganz Europa verbreitet [GISIN 1960] und besiedelt die verschiedensten Habitate [FJELLBERG 1980]. Bevorzugt finden sich die Tiere in feuchten Wiesen, an Tümpeln und auch auf Schnee [GISIN 1960]. Laut DUNGER (2001) haben sie eine hohe Präferenz für offene Flächen und auch Gisin (1960) verzeichnet, dass sie dichte Wälder meiden. Auch im Untersuchungsgebiet befanden sich die Tiere nur in Grasbeständen und höchstens bei lichten Baumbeständen. Besonders charakteristisch für die Art ist die hohe

Migrationstätigkeit [DUNGER 2001], die es ihnen ermöglicht, neue Besiedlungsräume für sich zu erschließen. Daher gibt es eine Vielzahl von Biotopen, bei denen ihr Vorkommen nachgewiesen werden konnte. Sie sind sehr zahlreich in Wiesen und landwirtschaftlich genutzten Flächen vorhanden [DUNGER 2001], aber auch in Wäldern haben sie Vorkommen, wenn auch in viel geringerer Dichte. Nur besonders extreme Standorte meiden sie [DUNGER 2001; KRAWCZYNSKI 2006]. KRAWCZYNSKI (2006) berichtet von positiven Effekten der Art durch Windverfrachtung, daher sollte sie eher auf jüngeren Flächen zu finden sein. Er schränkt jedoch ein, dass die *Isotoma viridis* Gruppe in der Niederlausitz möglicherweise eine spätere Art in der Sukzessionsfolge ist. Die Rekultivierungsfläche Schlabendorf Süd ist jetzt etwa 20 Jahre alt, möglicherweise verläuft die Sukzession hier nicht nach dem klassischen Sukzessionsschema. Generell gelten die Vertreter der *Isotoma viridis* Gruppe jedoch als Vertreter des 1. Sukzessionsstadiums [DUNGER 1991 in KRAWCZYNSKI 2006]. Sie sind außerdem ein Indiz für feuchte Standorte, da sie als mesophil und hygrophil gelten. In fetten und sauren Böden hingegen sind sie selten; eine hohe Salinität wird dagegen von der Artengruppe toleriert [DUNGER 2001].

Die *Isotoma viridis* Gruppe zeigt sich häufig in den verschiedensten anthropogen beeinflussten Habitaten in Deutschland. Landwirtschaftliche Flächen, die gedüngt wurden, haben stattdessen negativen Einfluss auf die Population. Daher gilt die *Isotoma viridis* Gruppe auch als Indikator, ob Pestizide eingesetzt wurden und ebenso, ob eine Beweidungsintensität zu hoch ist [DUNGER 2001].

KRAWCZYNSKI (2006) konnte die Artengruppe signifikant oft zusammen mit *Lepidocyrtus lanuginosus*, *Parisotoma notabilis* und *Sphaeridia pumilis* nachweisen. Außerdem tritt sie tendenziell gemeinsam mit *Entomobrya nivalis* und *Proisotoma minuta* auf. Auf rekultivierten Flächen zeigte sie auch eine signifikant positive Korrelation zu einer stärker entwickelten Vegetationsstruktur. Dies bestätigen auch die Fundstellen entlang des Transektes, da die Artengruppe dort sowohl in dichten Landreitgras- und Schwingelgrasbeständen vorkam wie auch unter den lichten Kiefernbeständen. STIERHOF (2003) konnte nachweisen, dass sie in Wäldern selten vorkommt; RUSEK (1995) in KRAWCZYNSKI (2006) hingegen berichtet von Nachweisen aus Eichen-Buchen-Wäldern und MÜLLER (1965) wiederum ordnet sie generell als Wald-, Wiesen- und Ackerbodenart ein.

Die *Isotoma viridis* Gruppe soll auf erst kürzlich rekultivierten Flächen den größten Anteil an der Biomasse besitzen; nach einem Feuer tritt sie hingegen erst spät wieder auf [TAMM 1986 in KRAWCZYNSKI 2006]. KRAWCZYNSKI (2006) schreibt ferner von lehmigen oder sandigen pleistozänen Kippen als Fundorte, die die hohe Präferenz der Artengruppe für offene Flächen unterstreicht. Die Tiere finden sich außerdem häufig in zersetzendem Laub wieder. Sie stellen Mikroarthropoden nach und ernähren sich von Pilzhyphen. Ihre Lebensweise wird mit epigäisch [KRAWCZYNSKI 2006] bzw. hemiedaphisch [STIERHOF 2003] angegeben. MÜLLER (1965) bescheinigt ihnen eine Resistenz gegenüber Kälte bis -4 °C, ein Temperaturoptimum ist bei der *Isotoma viridis* Gruppe hingegen, im Gegensatz zu vielen anderen Arten, nicht gegeben.

#### 4.4.1.8 *Lepidocyrtus lanuginosus*

*Lepidocyrtus lanuginosus* zeigt sich im Untersuchungsgebiet ausschließlich als Besiedler des gewachsenen Landes. Es scheint, als würde die Art die trockeneren und mit Kiefern bewachsenen Stellen im Kippenbereich meiden. Auf gewachsenem Land war *Lepidocyrtus lanuginosus* überwiegend im Bereich der Landreitgrasbestände, oft in Kombination mit Moos, zugegen. Wenn sie im Bereich von Kiefern vorkommt, dann nur mit wenigen Exemplaren; auch Rohbodenstellen werden selten besiedelt. *Lepidocyrtus lanuginosus* ist mit maximal 12 Exemplaren an einem Probenpunkt ein eher seltener Vertreter innerhalb der gesamten Zönose und spielt daher nur eine geringe Rolle.

Da *Lepidocyrtus lanuginosus* häufig mit *L. lignorum* verwechselt wird, ist leider noch sehr wenig über die Art bekannt [FJELLBERG 1980]. Die bis zu 2 mm großen gelblichweißen Collembolen findet man in ganz Europa [GISIN 1960]. Sie gelten entgegen diesen Untersuchungen eher als Waldart [MIGLIORINI et al. 2003 in KRAWCZYNSKI 2006], wobei auch andere Nachweise von Wald-, Wiesen- und Ackerböden berichten [MÜLLER 1965]. *Lepidocyrtus lanuginosus* tritt vorwiegend erst bei fortgeschrittener Sukzession auf [RUSEK 1995 in KRAWCZYNSKI 2006], was auch das Fehlen der Art im zweiten Transektabschnitt unterstreicht. KRAWCZYNSKI (2006) konnte ihr eine signifikant positive Korrelation zu Ammonium und einer gut entwickelten Vegetationsstruktur nachweisen. Innerhalb von Collembolenzönosen war *Lepidocyrtus lanuginosus* signifikant oft zusammen mit *Folsomia fimetaria* sowie *Parisotoma notabilis* und der *Isotoma viridis* Gruppe anzutreffen.

Neben Waldstandorten findet man die Art auch an feuchten Standorten wie Sümpfen, litoralen Bereichen oder Komposthaufen [RUSEK 2004 in KRAWCZYNSKI 2006]. Mit einer geringen relativen Luftfeuchte unter 30 % kann *Lepidocyrtus lanuginosus* nur für kurze Zeit zurechtkommen, weshalb sie auch bei Überflutungen den Boden verlässt [MÜLLER 1965]. Sie lässt sich als hemiedaphisch [STIERHOF 2003] bzw. in der Streuschicht lebend, also als epigäisch, und mit mesophilen Temperatursprüchen einordnen [RUSEK 1995 in KRAWCZYNSKI 2006].

#### 4.4.1.9 *Mesaphorura macrochaeta*

Von allen erfassten Collembolen ist *Mesaphorura macrochaeta* diejenige Art, welche bei weitem den größten Anteil aller extrahierten Exemplare ausmacht. Im ersten Abschnitt wurden mit 232 Individuen vergleichsweise wenige Tiere gefunden, im Kippenbereich allerdings waren es 3328. Betrachtet man die gesamte Collembolenzönose, so sind dies annähernd 70 % bei Summierung der Individuen aller angetroffenen Arten. *Mesaphorura macrochaeta* ist somit die einzige Art, die im ehemaligen Tagebau Schlabendorf Süd an den untersuchten Standorten wahre Massenvorkommen bildet. Sie ist dort besonders zahlreich, wo nur wenige Arten anzutreffen sind. Als Erstbesiedler rekultivierter Flächen [DUNGER 1994] kann sie nur so lange vorherrschend sein, wie für andere Arten die Bedingungen zu extrem sind. Nach KRAWCZYNSKI (2006) kann diese Dominanz über mehrere Jahrzehnte hinweg andauern. Sobald die Sukzession weiter fortgeschritten ist und sich die Bodenverhältnisse im Sinne der anderen Arten verbessert haben, kann *Mesaphorura macrochaeta* der Konkurrenz

der anderen Arten nicht mehr trotzen und wird schrittweise zurückgedrängt bis sie ganz verschwindet.

Auf gewachsenem Land konnte sie überwiegend in Landreitgras- oder Schwingelgrasbeständen nachgewiesen werden, teilweise auch unter Kiefern. Im Kippenbereich siedelt sie häufiger unter Kiefernbaumen und in Schwingelgrasbeständen, aber auch an Standorten mit großen Lücken in der Vegetationsdecke und Bereichen mit viel Kiefernstreu. Die zur Versauerung des Bodens führenden Kiefernadeln scheinen keineswegs die Besiedlung von *Mesaphorura macrochaeta* einzuschränken, gilt sie doch als acidophil, wenn auch andere Nachweise für eine pH-Indifferenz sprechen [PONGE 2000 in KRAWCZYNSKI 2006]. Sie ist eine weit verbreitete Art der Laub- und Nadelwälder [DUNGER 1994; PONGE 1993 in KRAWCZYNSKI 2006]. Es gibt ebenfalls Nachweise von feuchten Wiesen und urbanen Standorten [DUNGER 1994], vielfach wird auch von einem Kosmopolit gesprochen [FJELLBERG 1998]. Besonders groß sollen ihre Vorkommen in trockenen Wiesen sein [FJELLBERG 1998], aber auch in Waldböden [FJELLBERG 1998]. Ihre Dominanz konnte auch unter Fichten in den Pyrenäen nachgewiesen werden [CASSAGNE et al. 2004 in KRAWCZYNSKI 2006]. In tertiären Braunkohlekippen soll *Mesaphorura macrochaeta* nach Untersuchungen von Dunger sogar bis in 40 cm Tiefe durchgängig vorherrschend sein [ZERLING 1990]. Der bis zu 0,7 mm groß werdende Springschwanz lebt somit endogäisch [STIERHOF 2003]. KRAWCZYNSKI (2006) entdeckte bei *Mesaphorura macrochaeta* eine Tendenz, an Standorten vorzukommen, die einen höheren Gehalt an Wasser und organischer Substanz aufweisen.

Eine besondere Anpassung bei *Mesaphorura macrochaeta* an Pionierstandorte ist die Jungfernzeugung, auch Parthenogenese genannt [FJELLBERG 1998]. Bei den meisten Exemplaren, die an den verschiedensten Standorten gefunden wurden, handelt es sich um Weibchen [DUNGER 1994]. Lediglich FJELLBERG (1998) konnte auch männliche Tiere an hochalpinen Standorten oder sandigen Küstenbereichen nachweisen.

#### **4.4.1.10 *Oncopodura spec.***

Bei den Exemplaren von *Oncopodura spec.* handelt es sich um Einzelfunde im gewachsenen Boden. Die Gattung gehört zur Familie der *Oncopoduridae* und umfasst 39 Arten, welche alle zu den boden- oder höhlenbewohnenden Formen zählen [HOPKIN 1997]. Die beiden extrahierten Exemplare sind pigmentlos und blind und somit als endogäisch lebend einzustufen.

#### **4.4.1.11 *Parisotoma notabilis***

*Parisotoma notabilis* besiedelte nahezu alle Bereiche des Gesamttransektes. Die besten Bedingungen findet sie offensichtlich an Standorten des gewachsenen Landes. Die letzten 15 m des Kippenbereiches erweisen sich als eine Grenze, deren Verhältnisse keine weitere Besiedlung zulassen. Bei Betrachtung der Vegetationsverteilung an den Fundstellen zeigt sich, dass die Art im gewachsenen Land überwiegend in Landreitgrasbeständen vorkommt und weniger unter Kiefernbeständen. Sie besiedelt dort auch gelegentlich Standorte mit

vegetationsfreien Stellen. Im verkippten Bereich ist sie nur noch teilweise in Landreitgrasbeständen zu finden, aber wiederum vermehrt unter Kiefern-bäumen und Flächen mit dicker Nadelstreuschicht.

*Parisotoma notabilis* kann sowohl in natürlichen als auch in gestörten Standorten hohe Individuendichten erreichen [DUNGER 2001]. Sie gilt als Kosmopolit; ihr Vorkommen konnte auf allen Kontinenten, mit Ausnahme der Antarktis, bestätigt werden [STIERHOF 2003]. In Europa ist sie besonders im Tiefland der gemäßigten Breiten gemein [GISIN 1960; STIERHOF 2003]. *Parisotoma notabilis* besiedelt sowohl Wald- als auch Offenlandstandorte. Die Art zeigt ihre Präsenz in jedem Standort, wenn auch unter Umständen in geringeren Dichten, unter der Voraussetzung, dass das Habitat keine zu extremen Bedingungen aufweist. Das allgegenwärtige Auftreten gilt als Charakteristikum dieser Art [DUNGER 2001]. Das enorme Verbreitungsspektrum ist nur durch ein hohes Vermehrungspotential von *Parisotoma notabilis* möglich [ZERLING 1990]. Die Art zeigt eine breite Toleranz bezüglich der Temperaturverhältnisse vor Ort, entweder schätzt sie ein höheres Wärmeverhältnis oder zeigt sich resistent gegenüber auftretender Trockenheit [ZERLING 1990; STIERHOF 2003]. Nach MÜLLER (1965) liegt ihre optimale Temperatur bei 15-25 °C, laut DUNGER 2001 hingegen sind sie mesophil.

Auf englischen Kohlehalden konnte sie als initialer Besiedler nachgewiesen werden [MOORE & LUXTON 1988 in DUNGER 2001; PARSONS & PARKINSON 1986 in KRAWCZYNSKI 2006], obwohl sie hierzulande nicht als Pionierart gilt. In ehemaligen Tagebauflächen, aber auch in Komposten, zeigt sie eine beginnende Humusbildung an [ZERLING 1990]. Nach ZERLING (1990) begünstigen stabilere Verhältnisse zunehmend K-Strategen wie *Parisotoma notabilis* u.a. Arten, die sich durch eine effektivere Ausnutzung der vorhandenen Ressourcen, größeres Konkurrenzvermögen und gesteigerte Überlebenschancen ihrer Reproduktionsstadien auszeichnen. In Deutschland tritt *Parisotoma notabilis* in rekultivierten Braunkohleabbaugebieten häufig mit Beginn des 2. Sukzessionsstadiums, d.h. bei optimalem Verlauf nach 5-10 Jahren, auf [ZERLING 1991 in DUNGER 2001]. Die Art gilt als streubewohnend und zeigt sich unabhängig von anthropogenen Belastungen verschiedener Art, unter Umständen bevorzugt sie sogar nicht übermäßig belastete Habitate [DUNGER 2001; KRAWCZYNSKI 2006]. Als pH-Indikatorart eignet sie sich nur bedingt, ihre durchschnittliche Präferenz liegt etwa im neutralen Bereich [DUNGER 2001 in STRAALen 1996]; steigende pH-Werte wirken sich meist positiv auf die Population aus, wobei auch gegenteilige Entwicklungen möglich sind; [(HAGVAR 1984, 1987; PONGE 1993; VILKAMAA & HUHTA 1986; MOORE & LUXTON 1988; MELECIS 1985; GEISSEN et al. 1997) in DUNGER 2001].

Auf optimalen Standorten ist *Parisotoma notabilis* innerhalb der meisten Collembolenzönosen vorherrschend [DUNGER 2001]. Ferner ist sie des Weiteren auf landwirtschaftlich genutzten Flächen die häufigste Collembolenart in Deutschland und zeigt positive Effekte nach einer Düngung [DUNGER 2001 in (EDWARDS & LOFTY 1969, LARINK 1997)]; auch hohe Konzentrationen von Dünger und Pestiziden toleriert sie in landwirtschaftlichen Böden [LARINK 1997 in DUNGER 2001]. *Parisotoma notabilis* ist in der Lage, kurzfristig anfallendes organisches Material für sich zu nutzen [ZERLING 1990]. DUNGER (2001) berichtet, dass die Art in einem Kiefernbestand in Südfinnland positiv auf eine Aschebehandlung und Kalkungsmaßnahmen reagierte. Hohe Dichten erreicht *Parisotoma notabilis* auch unter Einzelbäumen [KUZNETSOVA 1994 in DUNGER 2001], so wie auch das frühe Waldstadium als bevorzugtes Habitat gilt [DUNGER 1997 in KRAWCZYNSKI

2006]. Die bis zu 1 mm große, graubraune Collembola [FJELLBERG 1980] ernährt sich mycetophag und saprophag [ZERLING 1990]. Wie auch bei *Mesaphorura macrochaeta* ist bei ihr ebenfalls eine Parthenogenese nicht ausgeschlossen [FJELLBERG 1980; ZERLING 1990; DUNGER 1991 in KRAWCZYNSKI 2006]. Sie wird als endogäisch lebende Collembolenart eingestuft [DUNGER 1989 in KRAWCZYNSKI 2006].

KRAWCZYNSKI (2006) konnte *Parisotoma notabilis* im ehemaligen Tagebaugelände eine hohe Korrelation zu Standorten mit hoher organischer Substanz, Leitfähigkeit, höherem Wassergehalt, höherer Wasserhaltekapazität sowie größeren Konzentrationen der Nährstoffe Ammonium, Phosphat und Nitrat im Boden nachweisen. Des Weiteren ist sie eher an Standorten mit stärker entwickelter Vegetation zu finden. Besonders oft kommt *Parisotoma notabilis* zusammen mit *Entomobrya nivalis*, *Isotoma viridis* und *Lepidocyrtus lanuginosus* vor sowie tendenziell mit *Folsomia fimetaria*. Eine negative Korrelation zeigte sich hingegen zu *Sphaeridia pumilis* [KRAWCZYNSKI 2006].

#### **4.4.1.12 Poduridae juv.**

*Poduridae juv.* besiedelt meist mit Einzelexemplaren sowohl die Kippe als auch gewachsenes Land. Bei diesen Juvenilstadien handelt es sich möglicherweise um Nachkommen von *Xenylla maritima* oder *Protaphorura spec.* Alle Tiere waren an Standorten angesiedelt, die sowohl Landreitgras- bzw. Schwingelgrasbestände aufwiesen, als auch Kiefernabfälle.

#### **4.4.1.13 Proisotoma minuta**

*Proisotoma minuta* ist eine Art, die fast ausschließlich den Kippenbereich bewohnt, und zwar zum größten Teil die Probenpunkte, die sich direkt an den Übergangsbereich anschließen. Ihr Einfluss auf gewachsenem Land ist verschwindend gering. Die Bereiche des Schwerpunktorkommens der Art sind neben den dort wachsenden Schwingelgrasbeständen charakterisiert durch eine deutlich vorhandene Kiefernabfallauflage, häufig auch in Verbindung mit Rohbodenanteilen. Gelegentlich siedelt *Proisotoma minuta* auch unter den aufkommenden Kiefernabfällen. Der Springschwanz scheint besonders an den Standorten mit hohem Nadelabfallanteil ihre größten Individuendichten entlang des Transektes zu erreichen.

*Proisotoma minuta* gilt als eine charakteristische Art des Pionierstadiums (1-3 Jahre) während der Entwicklung von fruchtbaren Böden in ehemaligen Braunkohletagebauen [DUNGER 1968 in DUNGER 2001; ZERLING 1990]. Häufig wurde sie auch in Kohleschieferhalden in England gefunden [MOORE & LUXTON 1988 in DUNGER 2001]. DUNGER (2001) schreibt ferner, dass sie ebenfalls in alten Kippen in Südsibirien eine typische Art der ersten 8 Jahre ist und ZERLING (1990) beruft sich auf Nachweise, dass sie eine Pionierart auf Bauxithalden in Australien ist. GISIN (1960) beschreibt, dass sie besonders auch in pflanzlichen Bestandsabfällen mit hohem Stickstoffanteil in großer Zahl vorkommt. Sie soll sogar die am weitesten verbreitete Art unter den Isotomiden in den verschiedensten Habitaten wie Komposthaufen, Düngerakkumulationen, Halden und ähnlichen Standorten sein [(GISIN 1948 in DUNGER 2001; CHERNOVA 1963, 1977; FJELLBERG 1973, 1988; CURRY 1979; GRINBERGS 1958; HÜTHER 1971)]. Ebenso FJELLBERG (1980) sieht sie häufig dort, wo die Zersetzung von

organischem Material stattfindet, wie es z.B. in Komposten der Fall ist. Auch in Blumentöpfen in Behausungen [FJELLBERG 1980; (STACH 1947; FJELLBERG 1973; WEINER 1981; LINNANIEMI 1907) in DUNGER 2001] sowie in Gewächshäusern [(STACH 1947; FJELLBERG 1973; WEINER 1981; LINNANIEMI 1907) in DUNGER 2001] soll sich die Art aufhalten. Neben der Erstbesiedlung von Braunkohletagebauen und Komposten sieht ZERLING (1990) *Proisotoma minuta* des Weiteren auch als Pionierart auf Rieselfeldern und bei der initialen Zersetzung von Nadelstreu. Für die Collembolenzönose des Untersuchungsgebietes bedeutet das, dass die Art dort eine wichtige Rolle bei der Verarbeitung der anfallenden Kiefernstreu eingenommen hat und genau aus diesem Grund an jenen Stellen vermehrt vorkommt. Nach ZERLING (1990) zieht sie sich jedoch mit wachsender Konkurrenz durch andere Arten zurück bis sie gänzlich verschwindet. Da bereits einige weitere Collembolenarten in das Gebiet einwandert sind, besteht die Möglichkeit, dass *Proisotoma minuta* jederzeit zurückgedrängt werden kann.

*Proisotoma minuta* zeigt sich sehr tolerant gegenüber widrigen Bedingungen und ist in natürlichen Habitaten in Zentral- und Nordeuropa eher selten zu finden [DUNGER 2001]. STIERHOF (2003) charakterisiert sie als ruderal und synanthrop, was die Anpassung an menschliche Besiedlungsräume bedeutet. Ferner schreibt er, dass die Verbreitung der Art vielfach auf der Verschleppung durch den Menschen basiert.

Häufig soll *Proisotoma minuta* in landwirtschaftlichen Böden vorkommen sowie der häufigste Springschwanz im frühen und mittleren Sukzessionsstadium von sich zersetzendem Faulschlamm und zerfallender Rinde sein [HUHTA et al. 1979 in DUNGER 2001]. Ähnliche Boden- und Vegetationsverhältnisse wie im Untersuchungsgebiet zeigen sich in den Beschreibungen von DUNGER (2001), der für *Proisotoma minuta* Nachweise in Sandböden und ein häufiges Vorkommen in Kiefernplantagen in Portugal nennt. STIERHOF (2003) hingegen konnte im Zuge seiner Studien bei der Art keinen Zusammenhang zur Besiedlung von Waldflächen und keine Korrelation zu verschiedenen Umweltvariablen feststellen. KRAWCZYNSKI (2006) wies für *Proisotoma minuta* in Tagebaugebieten eine signifikant positive Korrelation zum pH-Wert nach. Tendenziell war die Art dort gemeinsam mit *Isotoma viridis* aufgetreten [KRAWCZYNSKI 2006].

Als r-Strategie [ZERLING 1990; DUNGER 1989 in KRAWCZYNSKI 2006] profitiert *Proisotoma minuta* mit ihrer hohen Vermehrungsrate und der Tendenz zur Parthenogenese von den extremen, stark schwankenden Bedingungen eines Pionierhabitates [ZERLING 1990]. Daher ist es nicht verwunderlich, dass die Art als Kosmopolit gilt und überall, außer in der Arktis und Antarktis, vorkommt [DUNGER 2001; STIERHOF 2003]. STIERHOF (2003) fand bei seinen Untersuchungen heraus, dass die Art ein ausgeprägtes Frühjahrsmaximum aufweist. Der bis zu 1,1 mm große, graue bzw. gräulich braune Springschwanz [FJELLBERG 1980; DUNGER 2001] lebt euedaphisch [DUNGER 1991 in KRAWCZYNSKI 2006] bzw. hemiedaphisch [STIERHOF 2003]. Des Weiteren soll sie thermo- [DUNGER 2001 in KRAWCZYNSKI 2006] bzw. mesophil [RUSEK 1995 in KRAWCZYNSKI 2006] und acidointolerant sein [KRAWCZYNSKI 2006].



#### **4.4.1.14 *Protaphorura juv.***

*Protaphorura juv.* zählt zu jenen Vertretern, die nur vereinzelt im Untersuchungsgebiet nachgewiesen wurden; alle jedoch in gewachsenem Boden. Bezüglich bevorzugter Aufenthaltsorte kann aufgrund der geringen Anzahl keine Aussage getroffen werden.

#### **4.4.1.15 *Pseudachorutes spec.***

Auch *Pseudachorutes spec.* übt mit ihren geringen Individuendichten innerhalb der Collembolengemeinschaft im Untersuchungsgebiet nur wenig Einfluss aus. Alle drei Tiere waren im Kippenbereich angesiedelt. Ob sie auch im gewachsenen Land vorkommen, ist nicht geklärt.

#### **4.4.1.16 *Sminthurinus aureus***

Von *Sminthurinus aureus* existieren Nachweise in beiden Bereichen. Eine erkennbare Konzentration der Tiere an einem bestimmten Ort lässt sich hingegen nicht feststellen. Wie alle anderen erfassten Kugelspringerarten auch, bildet *Sminthurinus aureus* keine großen Populationen aus. Auffällig ist hingegen, dass die ersten 3 Fundpunkte, die zusammenhängend sind, im Bereich von Aufschüttungen liegen. Möglicherweise ist die Art im Zuge der Abkipfung dieses Materials vor Ort dorthin eingeschleppt worden. Die Vegetationsangaben lassen keine Besonderheiten erkennen. *Sminthurinus aureus* war sowohl im Bereich von Schwingel- und Landreitgrasbeständen als auch unter Kiefern zugegen. Da nur 6 Fundstellen existieren, sind keine Aussagen über bevorzugte Besiedlungsstandorte möglich.

*Sminthurinus aureus* findet sich häufig in Moosen und Bodenstreu; oft klettern die Tiere auch auf Kräuter, vor allem am Abend, und im Unterholz offener Wälder [GISIN 1960]. Der bis zu 1 mm große Kugelspringer ist weit verbreitet und lebt hemiedaphisch bzw. epigäisch [CASSAGNAU 1964 in DUNGER 1999]. STIERHOF (2003) nennt als Verbreitungsraum sowohl das Tiefland als auch alpine Lagen und DUNGER (1999) weist eine Höhe von 2300 m als Vorkommengrenze für Europa aus. Der Kugelspringer gilt als Kosmopolit [DUNGER 1997].

*Sminthurinus aureus* fällt besonders durch seine Farbvariationen auf, die von einheitlich schwarz oder schmutzig gelb bis blass mit dunklen, seitlichen Streifen reichen [FJELLBERG 1980]. DUNGER (1999) nennt die obersten Schichten von feuchten Böden und niedrige Vegetation als häufige Fundorte für den Kugelspringer. FJELLBERG (1980) hingegen führt trockene und mäßig feuchte Wiesen als Habitate für *Sminthurinus aureus* an. Auch KRAWCZYNSKI (2006) ordnet die Collebole ebenso eher als hygrophil und ferner als mesophil und säureintolerant ein. Weiterhin fand man *Sminthurinus aureus* in sich zersetzendem Seegras [STRENZKE 1955 in DUNGER 1999].

KRAWCZYNSKI (2006) konnte für den Kugelspringer einen positiven Zusammenhang bezüglich des Vorhandenseins von organischem Material, hohen Werten für die Leitfähigkeit und dem Wassergehalt nachweisen. Weiterhin neigt *Sminthurinus aureus* dazu, an Standorten mit höherer Wasserkapazität und mehr entwickelter Vegetation vorzukommen.

#### 4.4.1.17 *Sminthurus viridis*

Bei *Sminthurus viridis* gelangen 2 Zufallsfunde im Bereich des gewachsenen Landes; größere Populationen der Art sind im Untersuchungsgebiet hingegen nicht zu erwarten. Beide Standorte liegen dicht nebeneinander und im Bereich von Aufschüttungen, sodass auch hier die Möglichkeit besteht, dass die Tiere im Zuge der Abkippung des Materials eingeschleppt wurden.

*Sminthurus viridis* lebt epigäisch [KRAWCZYNSKI 2006] und zählt im Allgemeinen zu den am häufigsten vorkommenden Kugelspringern, - besonders im feuchten Grasland und auf Weideflächen [FJELLBERG 1980 in KRAWCZYNSKI 2006 u. DUNGER 1999]. Auch KRAWCZYNSKI (2006) ordnet ihn als Wiesenart ein und nennt im Weiteren offene Habitate als bevorzugte Lebensräume. Mit bis zu 3 mm Größe zählt *Sminthurus viridis* zu den größeren Collembolen; sie sind gelblich grün und oft mit bräunlichen Flecken versehen [FJELLBERG 1980]. Sie zeichnen sich außerdem durch ihre Eigenschaften aus, mesophil und macrophytobiont zu sein [RUSEK 1995 in KRAWCZYNSKI 2006]. KRAWCZYNSKI (2006) fand ebenfalls heraus, dass *Sminthurus viridis* in ehemaligen Tagebaugebieten tendenziell gemeinsam mit *Folsomia fimetaria* vorkommt.

Die Verbreitung von *Sminthurus viridis* wird vor allem von der Landwirtschaft kritisch gesehen, denn der Kugelspringer ernährt sich direkt von pflanzlichen Materialien und kann so im Extremfall enorme ökonomische Schäden verursachen [HOPKIN 1997]. Er versorgt sich vor allem mit Luzerne und Klee [GISIN 1960] und trägt daher oft den Namen „Luzernenfloh“ [HOPKIN 1997]. Ursprünglich nur in der nördlichen Hemisphäre heimisch, wurde er nach Australien eingeschleppt und entwickelte sich nur dort wegen kaum vorhandener natürlicher Feinde, die ihn eindämmen könnten, zur Plage [HOPKIN 1997]. HOPKIN (1997) nennt das Ausbringen von Insektiziden, das Kalken zur Zerstörung der Eier, das Brachliegenlassen von Feldern und die Ansiedlung natürlicher Feinde - wie der räuberischen Milben - als Möglichkeiten zur Bekämpfung von Massenvorkommen von *Sminthurus viridis*.

#### 4.4.1.18 *Sphaeridia pumilis*

Von *Sphaeridia pumilis* existieren einige Vorkommen im Kippenbereich, nicht jedoch in gewachsener Erde. Der Kugelspringer hielt sich ausschließlich in Schwingelgrasbeständen sowie nebenstehenden Kiefern und deren anfallender Streu bzw. nur in der Grasvegetation und der Kiefernstreu auf. 3 der 7 Fundpunkte wiesen teilweise Stellen ohne Vegetation auf.

*Sphaeridia pumilis* gilt in ganz Europa als weit verbreitet [GISIN 1960; FJELLBERG 1980; DUNGER 1999], DUNGER (1997) beschreibt ihn als kosmopolitisch. Laut GISIN (1960) findet er sich hauptsächlich in Wiesenböden wieder. DUNGER (1999) fand ihn in den obersten Schichten verschiedenster feuchter Böden und deren niedriger Vegetation, im Winter und während der trockenen Sommermonate war er hingegen nicht zu finden. *Sphaeridia pumilis* kommt auch in jungen Aufforstungsflächen vor [DUNGER 1989 in KRAWCZYNSKI 2006].

*Sphaeridia pumilis* ist grünlich-gelb oder eher rot [FJELLBERG 1980]. Die Weibchen erreichen eine Größe von bis zu 0,5 mm, Männchen sind mit 0,18-0,24 mm um mehr als die Hälfte kleiner [DUNGER 1999]. STIERHOF (2003) ordnet sie als hemiedaphisch lebend ein, KRAWCZYNSKI (2006) als epigäisch oder euedaphisch. DUNGER (1997) stuft *Sphaeridia*

*pumilis* als hydrophil ein, KRAWCZYNSKI (2006) als hygrophil und ferner als mesophil und auf Moos lebend.

*Sphaeridia pumilis* weist eine Reihe signifikant positiver Zusammenhänge zu verschiedenen Bodenparametern auf - wie etwa der Leitfähigkeit, dem Wassergehalt, Phosphat, Ammonium, Nitrat sowie der Vegetationsstruktur. Außerdem weist die Art eine Tendenz auf, dort zu siedeln, wo der pH-Wert und der Gehalt an organischer Substanz höher sind [KRAWCZYNSKI 2006]. KRAWCZYNSKI (2006) fand heraus, dass *Sphaeridia pumilis* signifikant oft zusammen mit *Folsomia fimetaria*, *Isotoma viridis* und *Parisotoma notabilis* anzutreffen ist.

#### **4.4.1.19 *Xenylla maritima***

*Xenylla maritima* ist eine Art, die ausnahmslos im Kippenbereich gefunden wurde. Sie siedelt häufig dort, wo Schwingelgras wächst und Kiefernstreu lagert. Auch unter Kiefern ist sie zu finden, ebenso meidet sie die vegetationsfreien Stellen in diesem Bereich nicht.

*Xenylla maritima* kommt in ganz Europa vor [GISIN 1960], sie gilt gar als kosmopolitisch [FJELLBERG 1998; DUNGER 2004]. Auch im Gebirge soll sie zu finden sein [FJELLBERG 1980]. Sie wird als xerophil eingeordnet [GISIN 1960], lebt also häufig in trockenen Habitaten [DUNGER 2004]. FJELLBERG (1980) sieht sie als Art der trockenen, offenen Standorte. *Xenylla maritima* lebt auch an Baumstämmen und in Nadelstreu [GISIN 1960]. DUNGER (2004) erwähnt, dass sie sowohl trockene als auch feuchte Lebensräume bewohnt - wie etwa Waldstreu, verschiedenste Moose, Flechten auf Steinen sowie auch Küstengebiete und andere feuchte Standorte.

In ihrer Erscheinung zeigt sich die bis zu 1,4 mm große *Xenylla maritima* dunkelblau oder beinahe schwarz [FJELLBERG 1998].

#### **4.4.2 Dominanz nach ENGELMANN**

Die Dominanzanalyse nach ENGELMANN soll der Charakterisierung der Collembolenzönose im Untersuchungsgebiet Schlabendorf Süd dienen und eine Art Hierarchie herstellen, welche Arten in besonders großer Zahl vorkommen oder auch nicht. Ebenso soll verdeutlicht werden, welche Unterschiede zwischen dem gewachsenem Land und dem Verkipfungsbereich, also dem ehemaligen Abbaugelände, bestehen und wie sich diese Einzelbetrachtungen vom Gesamten abheben. Aus diesem Grund wurde folgende Einteilung vorgenommen: Als Erstes erfolgt die Betrachtung des Abschnittes 1a-61a (Tab. 3) und anschließend vergleichend dazu der Bereich 62a-122a (Tab. 4). Die Aufteilung in diesem Bereich trennt sowohl die zwei Probennahmezeiten voneinander und stellt auch in etwa den Übergangsbereich dar, welcher anhand der ausgewerteten Bodenparameter festgelegt wurde. Die Gesamtbetrachtung von 1a-122a (Tab. 2) soll abschließend eine Gewichtung jeder einzelnen Collembolenart innerhalb der gesamten Zönose herstellen und damit ihren Stellenwert im Gefüge aufzeigen.

**Tab. 2: Dominanzwerte der Arten des Gesamttransektes 1a – 122a**

| Dominanz    | Collembolen                     | prozentualer Anteil | Individuenanzahl |
|-------------|---------------------------------|---------------------|------------------|
| eudominant  | <i>Mesaphorura macrochaeta</i>  | 69,6 %              | 3560             |
| subdominant | <i>Entomobrya juv.</i>          | 10,79 %             | 552              |
|             | <i>Parisotoma notabilis</i>     | 7,14 %              | 365              |
| rezedent    | <i>Proisotoma minuta</i>        | 2,97 %              | 152              |
|             | <i>Entomobrya nivalis</i>       | 2,89 %              | 148              |
|             | <i>Isotoma viridis</i> Gruppe   | 2,13 %              | 109              |
| subrezedent | <i>Lepidocyrtus lanuginosus</i> | 1,09 %              | 56               |
|             | <i>Xenylla maritima</i>         | 1,02 %              | 52               |
|             | <i>Entomobrya multifasciata</i> | 0,96 %              | 49               |
|             | <i>Poduridae juv.</i>           | 0,33 %              | 17               |
|             | <i>Sphaeridia pumilis</i>       | 0,25 %              | 13               |
|             | <i>Sminthurinus aureus</i>      | 0,23 %              | 12               |
|             | <i>Dicyrtoma fusca</i>          | 0,14 %              | 7                |
|             | <i>Isotomidae juv.</i>          | 0,14 %              | 7                |
|             | <i>Protaphorura juv.</i>        | 0,10 %              | 5                |
|             | <i>Folsomia fimetaria</i>       | 0,08 %              | 4                |
|             | <i>Pseudachorutes spec.</i>     | 0,06 %              | 3                |
|             | <i>Oncopodura spec.</i>         | 0,04 %              | 2                |
|             | <i>Sminthurus viridis</i>       | 0,04 %              | 2                |

Die Gesamtbetrachtung (Abb. 39) zeigt, dass *Mesaphorura macrochaeta* im 2. Durchgang so vorherrschend ist, dass dies auch für den kompletten Transekt gilt. *Entomobrya juv.* erscheint in der Zusammenfassung eher geringer gewichtet. Wahrscheinlich sind die Bedingungen im Übergangsbereich noch nicht optimal, sodass eine Besiedlung des 2. Bereiches noch nicht möglich ist und der 1. Abschnitt keine ausreichenden Rahmenbedingungen für größere Vorkommendichten schafft. *Parisotoma notabilis* zeigt sich überall, d.h. die Bodenentwicklung ist bereits so weit vorangeschritten, dass es für sie und die Besiedlung durch andere Arten ausreichend ist. Ein Fehlen dieser Art hätte darauf hingedeutet, dass die

Entwicklung des Substrates nach dem Tagebau noch nicht so weit fortgeschritten ist und die Bedingungen zu extrem sind.

Unter den ersten 4 Collembolenarten des Gesamtdurchganges befinden sich 3 endogäische Vertreter: *Mesaphorura macrochaeta*, *Parisotoma notabilis* und *Proisotoma minuta*. Die darauffolgenden Arten sind hingegen fast ausschließlich epigäisch wie etwa *Entomobrya nivalis*, die *Isotoma viridis* Gruppe oder *Lepidocyrtus lanuginosus*. Dieser Lebensform konnten mehr Arten zugeordnet werden als der anderen. Insgesamt gibt es 11 streubewohnende Arten und 8, die im Oberboden zu finden sind. Unter den am seltensten gefundenen Collembolenarten befinden sich zum größten Teil endogäische Arten wie *Folsomia fimetaria* oder *Protaphorura juv.* Offenbar erweisen sich die Bodenverhältnisse für diese noch nicht als optimal, sodass eher die bereits genannten Pionierarten auf größere Bestandsdichten kommen.

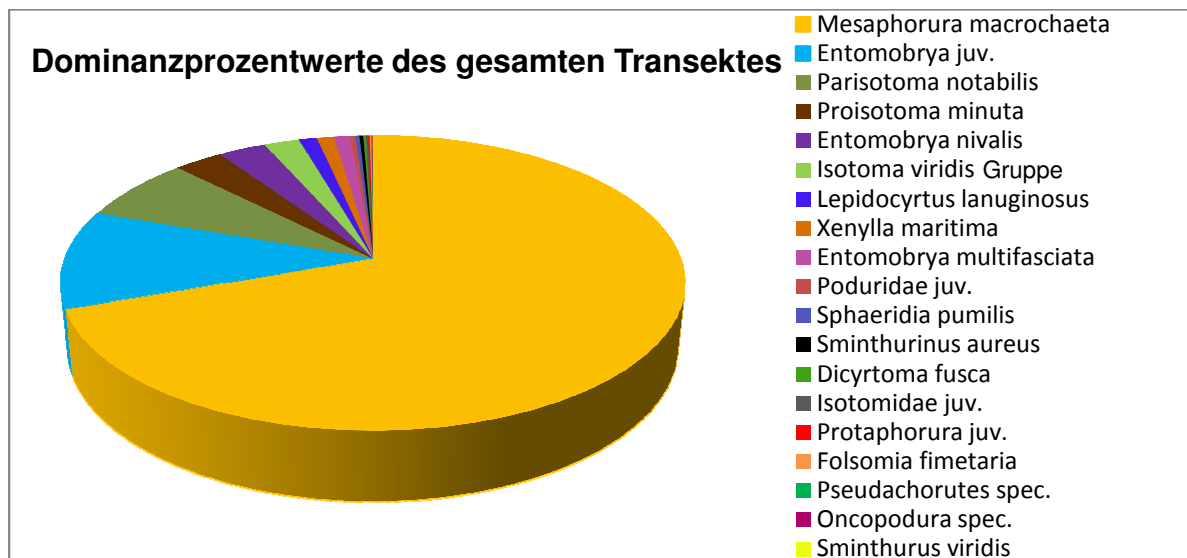


Abb. 39: Dominanzprozentwerte des gesamten Transektes

Tab. 3: Dominanzwerte der Arten des 1. Transektes 1a – 61a

| Dominanz    | Collembolen                     | prozentualer Anteil | Individuenanzahl |
|-------------|---------------------------------|---------------------|------------------|
| dominant    | <i>Entomobrya juv.</i>          | 37,14 %             | 465              |
|             | <i>Mesaphorura macrochaeta</i>  | 18,53 %             | 232              |
|             | <i>Parisotoma notabilis</i>     | 17,89 %             | 224              |
| subdominant | <i>Entomobrya nivalis</i>       | 11,34 %             | 142              |
|             | <i>Lepidocyrtus lanuginosus</i> | 4,47 %              | 56               |
|             | <i>Isotoma viridis</i> Gruppe   | 4,07 %              | 51               |
| rezedent    | <i>Entomobrya multifasciata</i> | 3,75 %              | 47               |

| Dominanz    | Collembolen                 | prozentualer Anteil | Individuenanzahl |
|-------------|-----------------------------|---------------------|------------------|
| subrezedent | <i>Sminthurinus aureus</i>  | 0,80 %              | 10               |
|             | <i>Poduridae juv.</i>       | 0,56 %              | 7                |
|             | <i>Protaphorura juv.</i>    | 0,40 %              | 5                |
|             | <i>Proisotoma minuta</i>    | 0,32 %              | 4                |
|             | <i>Folsomia fimetaria</i>   | 0,24 %              | 3                |
|             | <i>Isotomidae juv.</i>      | 0,16 %              | 2                |
|             | <i>Oncopodura spec.</i>     | 0,16 %              | 2                |
|             | <i>Sminthurus viridis</i>   | 0,16 %              | 2                |
|             | <i>Dicyrtoma fusca</i>      | 0 %                 | 0                |
|             | <i>Pseudachorutes spec.</i> | 0 %                 | 0                |
|             | <i>Sphaeridia pumilis</i>   | 0 %                 | 0                |
|             | <i>Xenylla maritima</i>     | 0 %                 | 0                |

Innerhalb des ersten Abschnittes gibt es keine Art, die eudominant ist und somit in besonders großer Zahl vorkommt (Abb. 37). Dominante Arten gibt es hingegen 3: *Entomobrya juv.*, *Mesaphorura macrochaeta* und *Parisotoma notabilis*. Erstere ist mit 465 Exemplaren bzw. 37,14 % die häufigste Collembole auf gewachsenem Land. Die beiden anderen Vertreter sind zwar auch dominant, können aber nur halb so viele Tiere aufweisen wie *Entomobrya juv.*

Da *Entomobrya juv.* ein charakteristischer Streubewohner ist, findet sie in diesem Abschnitt die Bedingungen, um erfolgreich größere Dichten zu erreichen und die Zönose dort zu dominieren. Sie ist außerdem Vorreiter in der Bearbeitung trockener Streu, die im ersten Transekt sehr zahlreich in Form von Kiefernstreu sowie abgestorbenen Beständen von Schwingel-, Landreit- und Silbergras vorliegt. Als epigäisch lebender Springschwanz ist sie des Weiteren auf Strukturelemente wie Totholz und Hohlräume in der Auflage angewiesen, was besonders auf dem gewachsenen Land vorhanden ist und damit die Besiedlung erleichtert. *Mesaphorura macrochaeta* gilt eigentlich als Erstbesiedler und ist demnach auf gewachsenem Land eher gringeren Bestandsdichten anzutreffen. Die Art ist höchstwahrscheinlich in diesem Gebiet auf dem Rückzug, da sie von anderen konkurrierenden Arten zunehmend verdrängt wird. Die noch verbliebenen Exemplare auf diesem Standort deuten nur darauf hin, dass sie einmal in großer Zahl dort zugegen gewesen sein muss. *Parisotoma notabilis* gilt als Wald- und Wiesenart. Sie ist in nahezu allen Habitaten präsent, jedoch nicht als Erstbesiedler und somit ist ihr Vorkommen in diesem Bereich nicht verwunderlich. Außerdem zeichnet sie sich durch ihre Trockenheitsresistenz

aus. Trockene Verhältnisse herrschten auch zum Zeitpunkt der Probennahme, die das Auftreten von *Parisotoma notabilis* unterstützt haben.

Die anderen aufgeführten Arten erreichten wesentlich geringere Bestandsdichten und spielen somit eine unbedeutendere Rolle für die Auswertung dieser Ergebnisse. Darunter befinden sich eine Reihe endogäisch lebender Springschwänze wie *Proisotoma minuta* und *Folsomia fimetaria* sowie alle Kugelspringerarten. *Dicyrtoma fusca*, *Pseudachorutes spec.*, *Sphaeridia pumilis* und *Xenylla maritima* waren im ersten Abschnitt gar nicht vertreten.

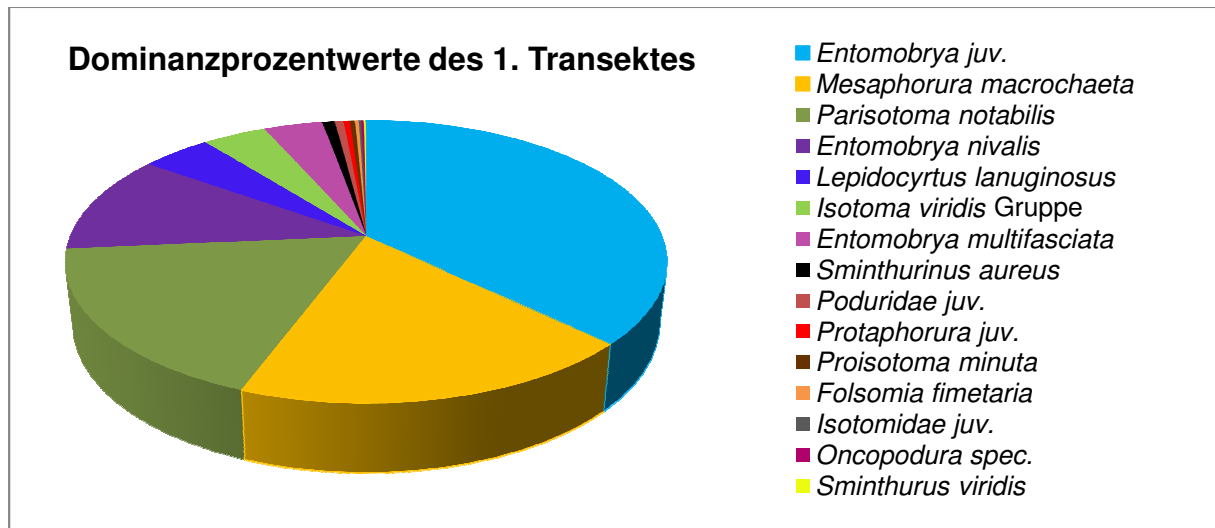


Abb. 37: Dominanzprozentwerte des 1. Transektes

Tab. 4: Dominanzwerte der Arten des 2. Transektes 62a – 122a

| Dominanz    | Collembolen                    | prozentualer Anteil | Individuenanzahl |
|-------------|--------------------------------|---------------------|------------------|
| eudominant  | <i>Mesaphorura macrochaeta</i> | 86,15 %             | 3328             |
| rezedent    | <i>Proisotoma minuta</i>       | 3,83 %              | 148              |
|             | <i>Parisotoma notabilis</i>    | 3,65 %              | 141              |
|             | <i>Entomobrya juv.</i>         | 2,25 %              | 87               |
|             | <i>Isotoma viridis</i> Gruppe  | 1,5 %               | 58               |
|             | <i>Xenylla maritima</i>        | 1,35 %              | 52               |
| subrezedent | <i>Sphaeridia pumilis</i>      | 0,34 %              | 13               |
|             | <i>Poduridae juv.</i>          | 0,26 %              | 10               |
|             | <i>Dicyrtoma fusca</i>         | 0,18 %              | 7                |
|             | <i>Entomobrya nivalis</i>      | 0,16 %              | 6                |

| Dominanz | Collembolen                     | prozentualer Anteil | Individuenanzahl |
|----------|---------------------------------|---------------------|------------------|
|          | <i>Isotomidae juv.</i>          | 0,13 %              | 5                |
|          | <i>Pseudachorutes spec.</i>     | 0,08 %              | 3                |
|          | <i>Entomobrya multifasciata</i> | 0,05 %              | 2                |
|          | <i>Sminthurinus aureus</i>      | 0,05 %              | 2                |
|          | <i>Folsomia fimetaria</i>       | 0,03 %              | 1                |
|          | <i>Lepidocyrtus lanuginosus</i> | 0 %                 | 0                |
|          | <i>Oncopodura spec.</i>         | 0 %                 | 0                |
|          | <i>Protaphorura juv.</i>        | 0 %                 | 0                |
|          | <i>Sminthurus viridis</i>       | 0 %                 | 0                |

Im zweiten Transektabschnitt ist *Mesaphorura macrochaeta* die eudominante Art mit einem prozentualen Anteil von 86,15 % bzw. 3328 erfassten Exemplaren (Abb. 38). Im Vergleich zum ersten Abschnitt ist ihre Anzahl sprunghaft angestiegen. Das liegt vor allem daran, dass sie, wie bereits erwähnt, als Pionierart gilt und der Kippenbereich sich als Habitat zur Erstbesiedlung eignet. Außerdem muss die konkurrenzschwache Art hier abschnittsweise kaum andere rivalisierende Arten fürchten. Als endogäischer Vertreter ist sie auch unabhängig von Streuauflagen, die im Gegensatz zum gewachsenen Land hier immer spärlicher werden je weiter der Transekt in die Kippe hineinreicht.

In diesem Abschnitt gibt es im Folgenden keine dominanten oder subdominanten Arten. Zu den rezedenten Arten zählen: *Proisotoma minuta*, *Parisotoma notabilis*, *Entomobrya juv.*, die *Isotoma viridis* Gruppe und *Xenylla maritima*. *Proisotoma minuta* kommt mit 3,83 % bzw. 148 Exemplaren im 2. Abschnitt vor. Sie ist wie *Mesaphorura macrochaeta* eine Pionierart und kommt in den verschiedensten Kippentypen vor. Die Kiefernstreu, welche stellenweise durch die Kiefern recht üppig anfällt, bietet ihr ein geeignetes Habitat. Wie bei anderen Erstbesiedlern kann auch sie sich gegen die Konkurrenz anderer Arten schwer behaupten und ist damit im 1. Abschnitt nur sehr wenig vertreten.

*Parisotoma notabilis* ist im 2. Transekt mit 3,65 % oder 141 Tieren ähnlich stark vertreten wie *Proisotoma minuta*. Dennoch sind hier deutlich weniger Exemplare als im 1. Abschnitt anzutreffen. Eine Abnahme der Art lässt sich dadurch erklären, dass sie nicht wie die 2 anderen häufigeren Besiedler dieses Bereiches zu den Pionierarten zählt. Nichtsdestotrotz ist davon auszugehen, dass *Parisotoma notabilis* als weiterer Besiedler immer weiter in den Kippenbereich vordringt und im Zuge dessen die Erstbesiedler zurückdrängt.

*Entomobrya juv.* zählt zu der Gattung, die als epigäischer Vertreter auf eine gut entwickelte strukturreiche Streuschicht angewiesen ist. Aufgrund dessen nimmt der Bestand auch deutlich ab und es sind nur noch 87 Exemplare bzw. 2,25 % vorhanden. Dieses Beispiel zeigt besonders deutlich die geringere Gewichtung der epigäischen Vertreter entlang des 2.



Transektes, schließlich war *Entomobrya juv.* mit rund 37 % noch die häufigste Art des vorherigen Abschnittes. Als potentielle Nachkommenschaft von *Entomobrya multifasciata* oder *Entomobrya nivalis* hat deren verringerte Siedlungshäufigkeit auch Einfluss auf das Vorkommen der Juvenilstadien.

*Xenylla maritima* kommt nur im 2. Abschnitt und das mit 52 Exemplaren bzw. einem 1,35 %-Anteil an der gesamten Collembolengemeinschaft vor. Als typischer Besiedler von Nadelstreu findet sie unter den Kiefernbeständen und in deren herabfallender Streu gute Bedingungen, die im 1. Durchgang nur stellenweise vorhanden waren, da vielerorts Grasbeständen vorherrschten.

Wie auch schon im 1. Transekt, sind die Kugelspringerarten hier ebenfalls sehr wenig vertreten. Diesen Bereich besiedelten *Lepidocyrtus lanuginosus*, *Oncopodura spec.*, *Protaphorura juv.* und *Sminthurus viridis* gar nicht.

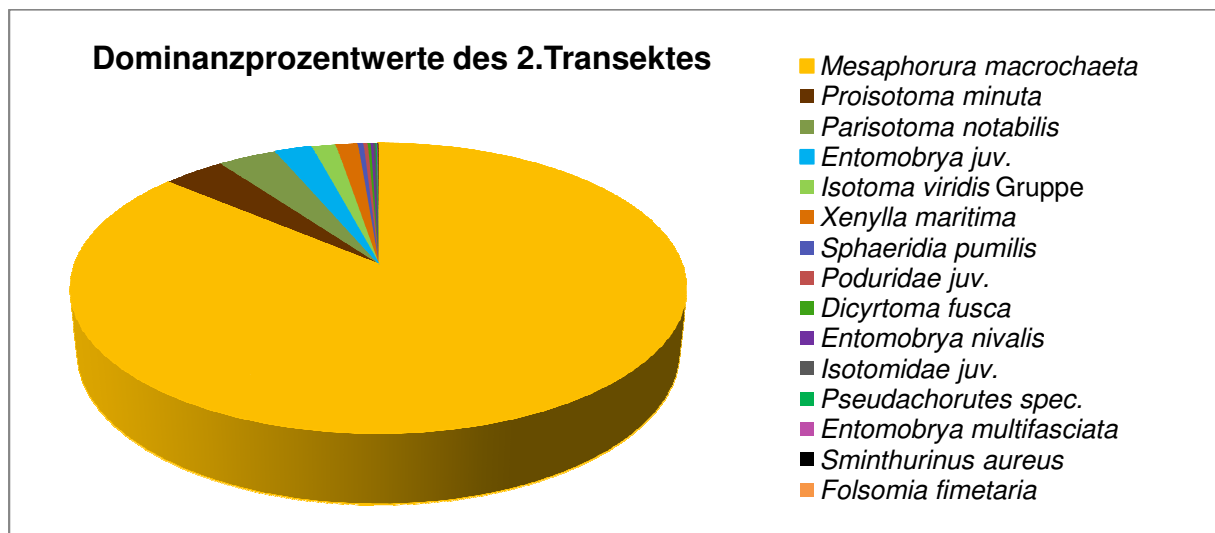


Abb. 38: Dominanzprozentwerte des 2. Transektes

Die meisten Arten kommen bei der Gesamtbetrachtung auf zu geringe Prozentzahlen, sodass sie keine konkreten Schlüsse zulassen. Daher ist es sinnvoller, um spezifische und genaue Aussagen zu machen, eine Einzelbetrachtung anstelle der zusammenfassenden Aufstellung vorzuziehen.

#### 4.4.3 Statistiken mit SPSS

##### 4.4.3.1 Auswertungen zu den Bodenparametern des Gesamttransektes

###### 4.4.3.1.1 pH-Wert

Die Abbildung zeigt die durchschnittlichen pH-Werte (Tab. 5), bei denen die einzelnen Arten entlang des Gesamttransektes bevorzugt vorkommen. Entscheidend für die Verlässlichkeit der Daten sind Signifikanz und F-Wert. Ist die Signifikanz, also die Irrtumswahrscheinlichkeit,

gering, dann steigt die Zuverlässigkeit der Daten. Als oberste Grenze wurde eine maximale Signifikanz von 10 % [HENZE 2008] festgelegt, die F-Werte hingegen sollten möglichst hoch sein.

*Oncopodura spec.* ist der Vertreter, welcher bei den niedrigsten pH-Werten auftritt. Im Mittel liegen die Messergebnisse bei 5,6, was dem schwach sauren Bereich entspricht. Die Signifikanz liegt hier mit 6,4 % innerhalb des zu tolerierenden Rahmens; F ist dagegen recht gering. Da die Art aber nur in 2 Proben gefunden wurde, dient dieses Ergebnis lediglich als Anhaltspunkt. Es liegen ferner keine Nachweise aus der Literatur vor, die dies bestätigen oder widerlegen könnten. Bei etwas höheren pH-Werten von durchschnittlich 6,2, aber dennoch im schwach sauren Bereich, hält sich *Xenylla maritima* auf. Bei 52 extrahierten Exemplaren in 24 Proben ist die Verlässlichkeit dieses Ergebnisses wahrscheinlicher als bei *Oncopodura spec.* Der aufgetretene Fehleranteil liegt bei 0 % und der F-Wert ist sehr hoch.

*Poduridae juv.* wurde häufig bei einem pH-Wert von 6,4 gefunden. Die Signifikanz liegt mit 9,9 % zwar noch innerhalb des Toleranzbereiches, aber die wenigen Funde entlang des Transektes und der geringe F-Wert ermöglichen keine Verwendung des Wertes.

Für *Entomobrya nivalis* wurde ein mittlerer pH-Wert von 7,2 berechnet. Die Fehlerwahrscheinlichkeit liegt bei 0 % und der F-Wert ist sehr hoch.

*Proisotoma minuta* zeigt keinerlei Zusammenhänge zum pH-Wert an, KRAWCZYNSKI (2006) hingegen konnte der Art eine signifikant positive Korrelation zum dem Bodenparameter nachweisen.

Insgesamt gesehen bietet die Fläche den Collembolenarten sehr heterogene Bedingungen durch das mergelhaltige Substrat und die im Kontrast dazu wirkende Pyritoxidation. Deshalb müssten die auftretenden Arten sich an die schwankenden Bedingungen anpassen, um ihr Dasein über längere Zeit sichern zu können.

Tab. 5: durchschnittliche pH-Werte der Arten im Gesamttransekt (pH mit CaCl<sub>2</sub>)

| Arten                           | CaCl <sub>2</sub> [l] | F-Test | Signifikanz | Probenanzahl mit Art |
|---------------------------------|-----------------------|--------|-------------|----------------------|
| <i>Dicyrtoma fusca</i>          | 6,25                  | 2,518  | 0,115       | 7                    |
| <i>Entomobrya juv.</i>          | 6,83                  | 1,349  | 0,248       | 74                   |
| <i>Entomobrya multifasciata</i> | 6,66                  | 0,229  | 0,633       | 17                   |
| <i>Entomobrya nivalis</i>       | 7,22                  | 23,053 | 0,000       | 44                   |
| <i>Folsomia fimetaria</i>       | 6,74                  | 0,002  | 0,967       | 4                    |
| <i>Isotoma viridis</i> Gruppe   | 6,68                  | 0,302  | 0,584       | 30                   |
| <i>Isotomidae juv.</i>          | 6,60                  | 0,167  | 0,684       | 5                    |
| <i>Lepidocyrtus lanuginosus</i> | 7,06                  | 2,701  | 0,103       | 19                   |
| <i>Mesaphorura macrochaeta</i>  | 6,70                  | 1,356  | 0,247       | 90                   |
| <i>Oncopodura spec.</i>         | 5,62                  | 3,489  | 0,064       | 2                    |
| <i>Parisotoma notabilis</i>     | 6,83                  | 0,367  | 0,546       | 33                   |
| <i>Poduridae juv.</i>           | 6,41                  | 2,771  | 0,099       | 15                   |
| <i>Proisotoma minuta</i>        | 6,54                  | 2,501  | 0,116       | 30                   |
| <i>Protaphorura juv.</i>        | 7,41                  | 1,749  | 0,188       | 3                    |
| <i>Pseudachorutes spec.</i>     | 7,15                  | 0,412  | 0,522       | 2                    |
| <i>Sminthurinus aureus</i>      | 6,93                  | 0,241  | 0,625       | 6                    |
| <i>Sminthurinus viridis</i>     | 7,44                  | 1,229  | 0,270       | 2                    |
| <i>Sphaeridia pumilis</i>       | 6,32                  | 1,848  | 0,177       | 7                    |
| <i>Xenylla maritima</i>         | 6,17                  | 14,715 | 0,000       | 24                   |

#### 4.4.3.1.2 Leitfähigkeit

Bei der Durchführung der einfaktoriellen Varianzanalyse für die Leitfähigkeit (Tab. 6) haben sich bei vielen Arten statistisch auswertbare Daten ergeben. *Lepidocyrtus lanuginosus* z.B. kommt bei sehr hohen Ionenleitfähigkeiten vor, durchschnittlich bei 158,27  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Der F-Wert ist bei dieser Art am höchsten und die Fehlerquote liegt bei 0 %. Den höchsten Wert hingegen besitzt *Protaphorura juv.* mit 173,13  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Die Signifikanz ist sehr gering, der F-Wert ebenfalls, sodass die Auswertbarkeit der Daten nicht gegeben ist, zumal auch die Anzahl der Proben mit der Art im unteren Bereich liegt. Mit 35,81  $\mu\text{S}/\text{cm}$  kommt *Dicyrtoma fusca* bei den geringsten Messergebnissen vor. Der anzunehmende Fehler ist zwar mit 1,1 % unterhalb des Grenzbereiches, aber die überschaubare Datenmenge, 7 verwendete Probenstandorte, schränkt die Verwendbarkeit des Ergebnisses ein. Statistisch besser nutzbare Daten ergaben sich z.B. bei *Entomobrya juv.* Der Springschwanz tritt im Mittel bei Messwerten von 108,14  $\mu\text{S}/\text{cm}$  auf. Die 74 verwertbaren Proben bieten eine gute Datengrundlage; ferner sind der F-Wert hoch und die Signifikanz gering. Auch *Entomobrya nivalis* liefert eine ausreichende Datenmenge sowie günstige F-Werte und Signifikanzen. Die Art kommt im Durchschnitt bei Leitfähigkeiten von 128,74  $\mu\text{S}/\text{cm}$  vor. Auch *Parisotoma notabilis* ist ein Vertreter, der Bereiche mit höheren Leitfähigkeiten besiedelt, im Mittel bei 135,44  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . KRAWCZYNSKI (2006) konnte der Art eine signifikant hohe Korrelation zur Leitfähigkeit nachweisen.

Tab. 6: durchschnittliche Leitfähigkeiten der Arten im Gesamttransekt

| Arten                           | Leitf.<br>[ $\mu\text{S}/\text{cm}$ ] | F-Test | Signifikanz | Probenanzahl mit Art |
|---------------------------------|---------------------------------------|--------|-------------|----------------------|
| <i>Dicyrtoma fusca</i>          | 35,81                                 | 6,677  | 0,011       | 7                    |
| <i>Entomobrya juv.</i>          | 108,14                                | 26,879 | 0,000       | 74                   |
| <i>Entomobrya multifasciata</i> | 133,53                                | 13,569 | 0,000       | 17                   |
| <i>Entomobrya nivalis</i>       | 128,74                                | 47,236 | 0,000       | 44                   |
| <i>Folsomia fimetaria</i>       | 145,58                                | 4,250  | 0,041       | 4                    |
| <i>Isotoma viridis</i> Gruppe   | 109,55                                | 5,585  | 0,020       | 30                   |
| <i>Isotomidae juv.</i>          | 72,08                                 | 0,437  | 0,510       | 5                    |
| <i>Lepidocyrtus lanuginosus</i> | 158,27                                | 46,281 | 0,000       | 19                   |
| <i>Mesaphorura macrochaeta</i>  | 84,01                                 | 2,254  | 0,136       | 90                   |
| <i>Oncopodura spec.</i>         | 155,00                                | 2,805  | 0,097       | 2                    |
| <i>Parisotoma notabilis</i>     | 135,44                                | 40,616 | 0,000       | 33                   |
| <i>Poduridae juv.</i>           | 87,67                                 | 0,004  | 0,947       | 15                   |
| <i>Proisotoma minuta</i>        | 59,85                                 | 10,974 | 0,001       | 30                   |
| <i>Protaphorura juv.</i>        | 173,13                                | 7,118  | 0,009       | 3                    |
| <i>Pseudachorutes spec.</i>     | 67,30                                 | 0,283  | 0,596       | 2                    |
| <i>Sminthurinus aureus</i>      | 103,33                                | 0,420  | 0,518       | 6                    |
| <i>Sminthurinus viridis</i>     | 94,95                                 | 0,025  | 0,874       | 2                    |
| <i>Sphaeridia pumilis</i>       | 52,41                                 | 3,048  | 0,083       | 7                    |
| <i>Xenylla maritima</i>         | 47,26                                 | 17,941 | 0,000       | 24                   |

#### 4.4.3.1.3 Maximale Wasserhaltekapazität

Wie bereits beim Parameter Leitfähigkeit zeigen viele Collembolenarten Zusammenhänge zur maximalen Wasserhaltekapazität (Tab. 7) an. Bei der geringsten möglichen Feuchte im Boden ist *Xenylla maritima* zugegen, im Mittel bei 7,97 %. Auch DUNGER (2004) fand sie bereits in trockenen Habitaten. Keine der anderen extrahierten Arten zeigt sich an so trockenen Standorten. Da der F-Wert hoch ist und der aufgetretene Fehler bei 0 % liegt, untermauert dies die Präferenz der Art für Standorte mit geringem Wasseranteil im Substrat. *Protaphorura juv.* zeigt mit 47,03 % die höchste Wasserhaltekapazität an. Jedoch bietet die geringe Datenmenge keine Grundlage für die Zuverlässigkeit der Daten. Ferner lässt die eingeschränkte Bestimmung des Vertreters keine Bestätigung durch Literaturnachweise zu. Mit 39,48 % maximaler Wasserhaltekapazität tritt auch *Lepidocyrtus lanuginosus* bei eher höheren Werten auf. Einige Nachweise berichten von feuchteren Standorten wie Sümpfen und Küstenabschnitten [RUSEK 1995 in KRAWCZYNSKI 2006] als Lebensraum. KRAWCZYNSKI (2006) zeigte bei der Art einen signifikanten Zusammenhang zur Wasserkapazität auf. Erstbesiedler wie *Mesaphorura macrochaeta* oder *Proisotoma minuta* treten im Vergleich zu den anderen Arten bei wesentlich geringeren Werten auf.

Tab. 7: durchschnittliche Wasserhaltekapazitäten der Arten im Gesamttransekt

| Arten                           | Max.WK [%] | F-Test | Signifikanz | Probenanzahl mit Art |
|---------------------------------|------------|--------|-------------|----------------------|
| <i>Dicyrtoma fusca</i>          | 13,54      | 1,781  | 0,184       | 7                    |
| <i>Entomobrya juv.</i>          | 25,91      | 5,759  | 0,018       | 74                   |
| <i>Entomobrya multifasciata</i> | 38,39      | 15,518 | 0,000       | 17                   |
| <i>Entomobrya nivalis</i>       | 33,91      | 30,705 | 0,000       | 44                   |
| <i>Folsomia fimetaria</i>       | 27,90      | 0,317  | 0,574       | 4                    |
| <i>Isotoma viridis</i> Gruppe   | 29,76      | 5,883  | 0,017       | 30                   |
| <i>Isotomidae juv.</i>          | 16,23      | 0,618  | 0,433       | 5                    |
| <i>Lepidocyrtus lanuginosus</i> | 39,48      | 21,040 | 0,000       | 19                   |
| <i>Mesaphorura macrochaeta</i>  | 20,70      | 3,939  | 0,049       | 90                   |
| <i>Oncopodura spec.</i>         | 19,89      | 0,045  | 0,832       | 2                    |
| <i>Parisotoma notabilis</i>     | 29,47      | 6,171  | 0,014       | 33                   |
| <i>Poduridae juv.</i>           | 17,35      | 1,391  | 0,241       | 15                   |
| <i>Proisotoma minuta</i>        | 15,24      | 6,565  | 0,012       | 30                   |
| <i>Protaphorura juv.</i>        | 47,03      | 5,373  | 0,022       | 3                    |
| <i>Pseudachorutes spec.</i>     | 27,53      | 0,135  | 0,714       | 2                    |
| <i>Sminthurinus aureus</i>      | 18,46      | 0,320  | 0,573       | 6                    |
| <i>Sminthurinus viridis</i>     | 16,72      | 0,205  | 0,652       | 2                    |
| <i>Sphaeridia pumilis</i>       | 13,18      | 1,927  | 0,168       | 7                    |
| <i>Xenylla maritima</i>         | 7,97       | 21,531 | 0,000       | 24                   |

#### 4.4.3.1.4 Humusgehalt

Da die Humusgehalte im Boden recht gering ausfallen, zeigt auch ein Großteil der Arten geringe Mengen an organischer Substanz an (Tab. 8). *Oncopodura spec.* ist der Vertreter, welcher mit einem 11,86 %-Anteil bei den höchsten Ergebnissen auftritt. Auch wenn F-Wert und Signifikanz gut sind, können die beiden zur Auswertung herangezogenen Proben keinen generellen Trend anzeigen. *Dicyrtoma fusca* deutet mit 0,84 % den geringsten Humusgehalt hin. Mit annähernd 1 % liegt *Sphaeridia pumilis* nur geringfügig darüber. KRAWCZYNSKI (2006) bescheinigt der Art hingegen, auf Flächen aufzutreten, die eine höhere Menge organische Substanz aufweisen. Dass beide Untersuchungen zu grundlegend verschiedenen Ergebnissen kommen, kann u.a. daran liegen, dass der Toleranzbereich der Signifikanz nahezu erreicht ist und nur 7 Proben in die Auswertung eingeflossen sind. Dass *Sphaeridia pumilis* bei geringen Humusgehalten im Untersuchungsgebiet siedelte, könnte also wegen der geringen Populationsdichte in den Probenpunkten dem Zufall unterliegen.

*Folsomia fimetaria* ist eine Art, die bei Betrachtung des maximalen Humusgehaltes im Untersuchungsgebiet, größere Mengen an organischer Substanz im Boden anzeigt. Zwar ist die zur Verfügung stehende Probenanzahl gering, aber auch FJELLBERG (1980) ordnet sie Standorten mit einem höheren Anteil organischer Substanz zu.

Tab. 8: durchschnittliche Humusgehalte der Arten im Gesamttransekt

| Arten                           | Humusg. [%] | F-Test | Signifikanz | Probenanzahl mit Art |
|---------------------------------|-------------|--------|-------------|----------------------|
| <i>Dicyrtoma fusca</i>          | 0,84        | 3,166  | 0,078       | 7                    |
| <i>Entomobrya juv.</i>          | 4,25        | 18,859 | 0,000       | 74                   |
| <i>Entomobrya multifasciata</i> | 6,26        | 16,127 | 0,000       | 17                   |
| <i>Entomobrya nivalis</i>       | 4,82        | 15,930 | 0,000       | 44                   |
| <i>Folsomia fimetaria</i>       | 8,09        | 8,063  | 0,005       | 4                    |
| <i>Isotoma viridis</i> Gruppe   | 4,86        | 9,152  | 0,003       | 30                   |
| <i>Isotomidae juv.</i>          | 2,28        | 0,322  | 0,572       | 5                    |
| <i>Lepidocyrtus lanuginosus</i> | 7,39        | 40,332 | 0,000       | 19                   |
| <i>Mesaphorura macrochaeta</i>  | 2,89        | 2,221  | 0,139       | 90                   |
| <i>Oncopodura spec.</i>         | 11,86       | 12,848 | 0,000       | 2                    |
| <i>Parisotoma notabilis</i>     | 6,15        | 40,321 | 0,000       | 33                   |
| <i>Poduridae juv.</i>           | 3,20        | 0,001  | 0,981       | 15                   |
| <i>Proisotoma minuta</i>        | 1,44        | 9,839  | 0,002       | 30                   |
| <i>Protaphorura juv.</i>        | 7,79        | 5,158  | 0,025       | 3                    |
| <i>Pseudachorutes spec.</i>     | 0,87        | 0,824  | 0,366       | 2                    |
| <i>Sminthurinus aureus</i>      | 4,22        | 0,517  | 0,474       | 6                    |
| <i>Sminthurinus viridis</i>     | 1,76        | 0,311  | 0,578       | 2                    |
| <i>Sphaeridia pumilis</i>       | 0,98        | 2,767  | 0,099       | 7                    |
| <i>Xenylla maritima</i>         | 1,20        | 9,507  | 0,003       | 24                   |

#### 4.4.3.1.5 Ammoniumgehalt

Etwa die Hälfte aller Arten zeigt Zusammenhänge zu verschiedenen hohen Ammoniumgehalten im Boden an (Tab. 9). Die Pionierarten *Mesaphorura macrochaeta* und *Proisotoma minuta* treten erwartungsgemäß bei sehr niedrigen Werten auf. Bei durchschnittlich 0,1 µg / g TS ist hingegen *Xenylla maritima* der Springschwanz, welcher die Bereiche mit den geringsten Ammoniumgehalten besiedelt. Im Mittel bei 2,55 µg / g TS tritt *Oncopodura spec.* auf, wobei - wie bereits erwähnt - die Datengrundlage keine Auswertungen zulässt.

KRAWCZYNSKI (2006) wies *Entomobrya multifasciata* eine signifikant hohe Korrelation zu Ammonium nach und bei diesen Untersuchungen zeigten sie die zweithöchsten Durchschnittswerte an. *Lepidocyrtus lanuginosus* zeigt mit 1,452 µg / g TS ebenfalls höhere Gehalte an. Ihr konnte KRAWCZYNSKI (2006) auch einen signifikanten Zusammenhang zu dem Parameter nachweisen, genauso wie *Parisotoma notabilis*, welche im Mittel bei Ammoniummengen von 1,16 µg / g TS aufgetreten ist.

Tab. 9: durchschnittliche Ammoniumgehalte der Arten im Gesamttransekt

| Arten                           | NH <sub>4</sub><br>[µg/g(TS)] | F-Test | Signifikanz | Probenanzahl mit Art |
|---------------------------------|-------------------------------|--------|-------------|----------------------|
| <i>Dicyrtoma fusca</i>          | 0,087                         | 2,289  | 0,133       | 7                    |
| <i>Entomobrya juv.</i>          | 0,786                         | 6,265  | 0,014       | 74                   |
| <i>Entomobrya multifasciata</i> | 1,744                         | 35,387 | 0,000       | 17                   |
| <i>Entomobrya nivalis</i>       | 0,903                         | 6,527  | 0,012       | 44                   |
| <i>Folsomia fimetaria</i>       | 1,426                         | 3,022  | 0,085       | 4                    |
| <i>Isotoma viridis</i> Gruppe   | 0,749                         | 0,785  | 0,377       | 30                   |
| <i>Isotomidae juv.</i>          | 0,330                         | 0,461  | 0,498       | 5                    |
| <i>Lepidocyrtus lanuginosus</i> | 1,452                         | 19,921 | 0,000       | 19                   |
| <i>Mesaphorura macrochaeta</i>  | 0,516                         | 3,729  | 0,056       | 90                   |
| <i>Oncopodura spec.</i>         | 2,553                         | 8,896  | 0,003       | 2                    |
| <i>Parisotoma notabilis</i>     | 1,163                         | 16,804 | 0,000       | 33                   |
| <i>Poduridae juv.</i>           | 0,672                         | 0,060  | 0,807       | 15                   |
| <i>Proisotoma minuta</i>        | 0,113                         | 11,956 | 0,001       | 30                   |
| <i>Protaphorura juv.</i>        | 0,810                         | 0,127  | 0,723       | 3                    |
| <i>Pseudachorutes spec.</i>     | 0,078                         | 0,640  | 0,425       | 2                    |
| <i>Sminthurinus aureus</i>      | 0,772                         | 0,169  | 0,682       | 6                    |
| <i>Sminthurinus viridis</i>     | 0,388                         | 0,114  | 0,736       | 2                    |
| <i>Sphaeridia pumilis</i>       | 0,134                         | 1,893  | 0,171       | 7                    |
| <i>Xenylla maritima</i>         | 0,100                         | 9,273  | 0,003       | 24                   |

#### 4.4.3.1.6 Phosphorgehalt

Bezüglich des Phosphorgehaltes (Tab. 10) zeigen nur 3 Vertreter Zusammenhänge zu dem Bodenparameter an: *Lepidocyrtus lanuginosus*, *Parisotoma notabilis* und *Protaphorura juv.* Allen gemeinsam ist, dass sie auf höhere Gehalte hinweisen. *Protaphorura juv.* kommt mit Abstand bei den größten Phosphormengen im Boden vor, im Schnitt bei 5,72 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> / 100g TS. Das Ergebnis bedarf aber der Bestätigung weiterer Untersuchungen, da die ausgewertete



Probenanzahl gering ist. *Parisotoma notabilis* tritt durchschnittlich bei 4,66 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> / 100g TS auf; KRAWCZYNSKI (2006) konnte ebenfalls einen positiven Zusammenhang zwischen der Art und dem Phosphor erkennen. Nicht bestätigen lässt sich hingegen die signifikant positive Korrelation, welche bei *Sphaeridia pumilis* [KRAWCZYNSKI 2006] bestehen soll.

**Tab. 10: durchschnittliche Phosphorgehalte der Arten im Gesamttransekt**

| Arten                           | Phosphor<br>[[mg]<br>P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /<br>100g TS] | F-Test | Signifikanz | Probenanzahl mit Art |
|---------------------------------|--|--------|-------------|----------------------|
| <i>Dicyrtoma fusca</i>          | 3,322  | 1,130  | 0,290       | 7                    |
| <i>Entomobrya juv.</i>          | 4,128  | 1,350  | 0,248       | 74                   |
| <i>Entomobrya multifasciata</i> | 4,133  | 0,149  | 0,700       | 17                   |
| <i>Entomobrya nivalis</i>       | 4,162  | 0,747  | 0,389       | 44                   |
| <i>Folsomia fimetaria</i>       | 3,907  | 0,009  | 0,926       | 4                    |
| <i>Isotoma viridis</i> Gruppe   | 4,071  | 0,102  | 0,750       | 30                   |
| <i>Isotomidae juv.</i>          | 3,207  | 1,091  | 0,298       | 5                    |
| <i>Lepidocyrtus lanuginosus</i> | 4,748  | 4,675  | 0,033       | 19                   |
| <i>Mesaphorura macrochaeta</i>  | 4,040  | 0,365  | 0,547       | 90                   |
| <i>Oncopodura spec.</i>         | 5,898  | 2,612  | 0,109       | 2                    |
| <i>Parisotoma notabilis</i>     | 4,660  | 7,528  | 0,007       | 33                   |
| <i>Poduridae juv.</i>           | 4,098  | 0,076  | 0,784       | 15                   |
| <i>Proisotoma minuta</i>        | 3,740  | 0,820  | 0,367       | 30                   |
| <i>Protaphorura juv.</i>        | 5,721  | 3,269  | 0,073       | 3                    |
| <i>Pseudachorutes spec.</i>     | 3,295  | 0,333  | 0,565       | 2                    |
| <i>Sminthurinus aureus</i>      | 4,696  | 1,106  | 0,295       | 6                    |
| <i>Sminthurinus viridis</i>     | 2,793  | 0,999  | 0,320       | 2                    |
| <i>Sphaeridia pumilis</i>       | 3,456  | 0,716  | 0,399       | 7                    |
| <i>Xenylla maritima</i>         | 3,711  | 0,775  | 0,380       | 24                   |

#### 4.4.3.2 Zusammenleben der Arten

Für den Gesamttransekt haben sich 10 Kombinationen für das gemeinsame Vorkommen zweier Arten ergeben (Tab. 15). Ausschlaggebend sind hier die Signifikanz, welche 10 % nicht überschreiten darf sowie der Phi-Wert, der mindestens 0,3 [BACKHAUS 1994] betragen sollte. Je höher dieser Wert liegt, desto stärker ist diese Beziehung zwischen Arten ausgeprägt.

Zwischen *Parisotoma notabilis* und *Lepidocyrtus lanuginosus* besteht mit  $\phi = 0,553$  der stärkste Zusammenhang, da auch der Fehleranteil bei 0 % liegt. KRAWCZYNSKI (2006) fand bei seinen Analysen beide Arten ebenfalls signifikant oft zusammen. Folgende Kombinationen von Arten sind hier aufgetreten, die aber anhand von KRAWCZYNSKI's Untersuchungen (2006) nicht bestätigt werden können: *Lepidocyrtus lanuginosus* x *Entomobrya nivalis*, *Isotoma viridis* Gruppe x *Entomobrya multifasciata* sowie *Sminthurinus aureus* x *Lepidocyrtus lanuginosus*. Dennoch ergaben die statistischen Untersuchungen hier bei allen Paarungen eine Fehlerquote von 0 % und einen ausreichend hohen Phi-Wert.

Auffällig ist, alle genannten Artenkombinationen, mit Ausnahme der ersten, bestehen zwischen zwei epigäischen Vertretern.

Der zweitstärkste ermittelte Zusammenhang besteht zwischen *Entomobrya nivalis* und *Entomobrya juv.* Unter der Annahme, dass es sich mit größter Wahrscheinlichkeit um dieselbe Art handelt, erscheint diese Berechnung plausibel.

Der 1. Transekt weist 8 Collembolenpaare auf, die gemeinsam vorkommen. Die Hälfte von ihnen ist bereits im Gesamttransekt zusammen aufgetreten. Dies betrifft *Entomobrya nivalis* x *Entomobrya juv.*, *Parisotoma notabilis* x *Lepidocyrtus lanuginosus*, *Sminthurinus aureus* x *Lepidocyrtus lanuginosus* sowie *Protaphorura juv.* x *Lepidocyrtus lanuginosus*. *Parisotoma notabilis* und *Lepidocyrtus lanuginosus* zeigen hier erneut den stärksten Zusammenhang mit  $\phi = 0,618$  an. Zwei weitere aufgetretene Paarungen, und zwar die von *Isotoma viridis* Gruppe x *Entomobrya multifasciata* und *Sminthurinus aureus* x *Parisotoma notabilis* konnten durch KRAWCZYNSKI's Untersuchungen (2006) nicht bestätigt werden.

Für den 2. Transekt ergaben sich nur 5 Kombinationen unter den gesamten Collembolenarten. Nur das gemeinsame Vorkommen von *Parisotoma notabilis* und *Entomobrya juv.* stimmt mit dem des Gesamttransektes überein. Ein übereinstimmendes Auftreten zweier Arten, nämlich das von *Parisotoma notabilis* und *Entomobrya multifasciata*, ist bei KRAWCZYNSKI (2006) nicht aufgetreten. Ähnliche Ergebnisse bei den Untersuchungen ergaben sich hingegen bei *Proisotoma minuta* und der *Isotoma viridis* Gruppe, wo sich eine Tendenz zum gemeinsamen Auftreten wie bei KRAWCZYNSKI (2006) herausstellte.

Wie die statistische Auswertung zeigt, ergeben sich die meisten Kombinationen für den Gesamttransekt, welche größtenteils nur durch den 1. Abschnitt bestätigt werden. Dies liegt u.a. daran, dass nur wenige Arten entlang der gesamten Strecke vorkommen. Der Kippenbereich, also der 2. Transekt, bietet für weniger Arten optimale Bedingungen für eine Besiedlung, sodass weniger Arten gemeinsam miteinander vorkommen können. Außerdem erreichen dort nur einzelne Vertreter höhere Individuendichten. Es stellt sich ebenfalls heraus, dass eine klassische Pionierart wie *Mesaphorura macrochaeta* nur selten gemeinsam mit immer denselben Vertretern siedelt, da sie gegen die Konkurrenz anderer Arten nicht besteht. Des Weiteren fällt auf, dass die Artenkombinationen innerhalb der 3 betrachteten Bereiche, 1., 2. und Gesamttransekt, stark variieren und damit die Heterogenität dieser Bergbaufolgelandschaft unterstreichen.

#### **4.4.4 Veränderung der Arten gegenüber 2003**

Da im Untersuchungsgebiet bereits 2003 von KRAWCZYNSKI Datenerhebungen zu Collembolen und Bodenparametern erfolgten, liegt ein Vergleich mit dem derzeitigen Datenmaterial nahe. Eine direkte Gegenüberstellung ist aber aufgrund der verschiedenen Herangehensweisen nicht uneingeschränkt möglich. KRAWCZYNSKI (2007) legte seine beiden Transekte an zwei unterschiedlichen Standorten an. Transekt 2003 (T1) befindet sich auf einer spärlich bewachsenen Fläche, auf der durch den Bergbau nur ein Abtrag des Bodens erfolgte, jedoch keine Kohleförderung. Vorherrschend fanden sich dort einzelne Silbergrasbestände und abgestorbene Gehölze aus einer Anpflanzung. Transekt 2003 (T2) liegt in einem Bereich mit dichter Vegetation, bestehend aus Horsten von Landreitgras und einigen, zu diesem Zeitpunkt etwa 15-20 Jahre alten Kiefern, welche sich infolge der Sukzession ansiedelten.



Innerhalb dieses Transektes fanden Verkippungen statt, sodass es einen Wechsel zwischen gewachsenem Land und Tagebau geben muss.

Die Einteilung der Transekte erfolgte auf identische Art und Weise. Die Grundlage bietet jeweils eine 30 m lange Strecke, auf welcher im Abstand von 50 cm eine Probenahme stattfand. T1 bietet nur geringe Vergleichsmöglichkeiten wegen der unterschiedlichen Bearbeitung des Bodenmaterials. Dort wurden die obersten 2 m der Substratschicht abgeschoben und sonstige Einflüsse des Tagebaus wie etwa eine Verkippung waren nicht gegeben. Außerdem gibt es große Unterschiede im pH-Wert-Verlauf. Bei KRAWCZYNSKI (2007) liegen alle Werte im neutralen Bereich, sodass eine gegenüberstellende Betrachtung hier nicht infrage kommt.

T2 hingegen bietet dieselben Voraussetzungen wie der Gesamttransekt dieser Arbeit. Um die Parallelen zwischen beiden Transekten herausarbeiten zu können, ist eine Vereinheitlichung notwendig. Dazu ist ein markanter Punkt erforderlich, welcher beide Arbeiten verbindet. Hierfür bietet sich der pH-Wert als Grundlage für diese Entscheidung an. Bei einem Vergleich beider Kurven (Abb. 38, Abb. 39) zeichnet sich deutlich ein Umbruch ab: Vor diesem verläuft der pH-Wert stabil im neutralen Bereich, was das gewachsene Land charakterisiert. Danach treten erstmals größere Schwankungen im Verlauf auf und es ist insgesamt ein Abfall in den sauren Bereich erkennbar. Bei KRAWCZYNSKI (2007) erfolgt dieser Wechsel ab Probe 40 und in dieser Arbeit nach 67a. Um eine bestmögliche Aussage über Collembolenarten und deren Anzahl zu treffen, ist es wichtig, dieselbe Probenanzahl um diese Wechsellpunkte zu wählen. Im Detail bedeutet dies, dass vom Probenmaterial der vorliegenden Arbeit die Punkte 28a-67a vor dem Wechsel herangezogen werden und danach die Punkte bis 87a. Somit beinhalten beide Betrachtungen zu Beginn 20 m gewachsenes Land und darauffolgend 10 m Kippenbereich. Eine 100 %ige Übereinstimmung aller Probenpunkte kann nicht zu erwarten sein, da infolge von Auswaschungsprozessen im Laufe der Zeit ständige Bodenveränderungen stattfanden. Alle Tendenzen jedoch bleiben sichtbar.

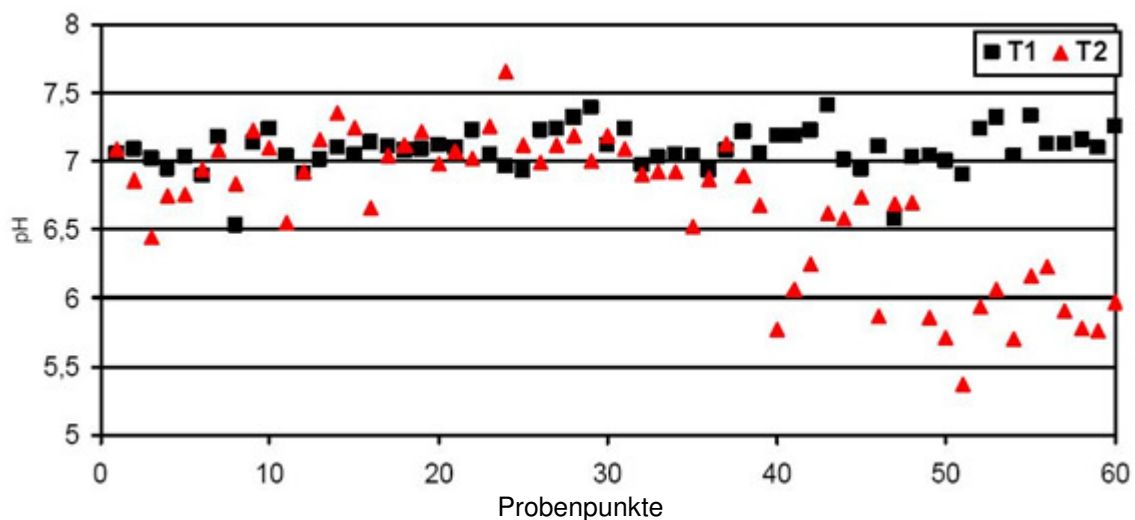


Abb. 40: pH-Diagramm aus KRAWCZYNSKI (2007), Transekt 2 in rot

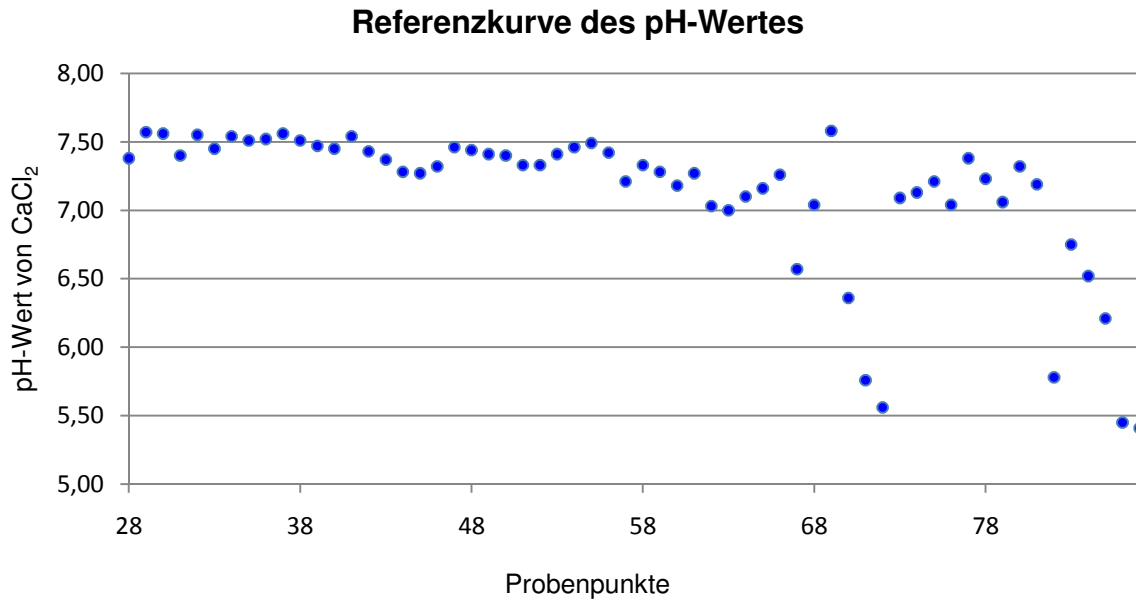


Abb. 41: pH-Diagramm, Ausschnitt aus dem gesamten Transekt (28a-87a)

Die Betrachtung der epigäischen Collembolenarten bei KRAWCZYNSKI (2007) (Abb. 40) zeigt eine deutliche Aufspaltung des Artenspektrums etwa in der Mitte des Transektes T2. Einige dieser Vertreter konnten nur in einem der beiden Abschnitte gefunden werden. Charakteristisch für den linken Bereich, das gewachsene Land, ist *Brachystomella parvula* oder *Lepidocyrtus cyaneus*, welche dort nur zwei Vorkommen besitzt. *Entomobrya multifasciata*, mit nur einem Fundpunkt, besiedelte ebenfalls nur den nicht bergbaulich beeinflussten Bereich. Andere Arten siedeln bis wenige Meter in den Kippenbereich hinein wie etwa *Isotoma viridis*, die im Transekt aber schwerpunktmäßig eher das gewachsene Land bevölkert. Ein ähnliches Verbreitungsmuster zeigt *Lepidocyrtus violaceus*. Überwiegend konnte sie aus den Proben bis zur Mitte des Transektes extrahiert werden, sie besitzt jedoch auch ein einzelnes Vorkommen am Ende von T2, also im Kippenbereich. *Sminthuridae juv.* hat einzelne Standorte im Bereich des gewachsenen Landes und einen nach dem Übergangsbereich. Ähnlich ist es bei *Lepidocyrtus paradoxus*, sie hat ein Vorkommen zu Beginn des Transektes und zwei kurz nach dem Übergang. Eine Art, *Cryptopygus thermophilus*, tritt nur im Kippenbereich auf. Sie kommt dort nahezu allein vor und das in wesentlich größeren Bestandsdichten als die anderen Vertreter.

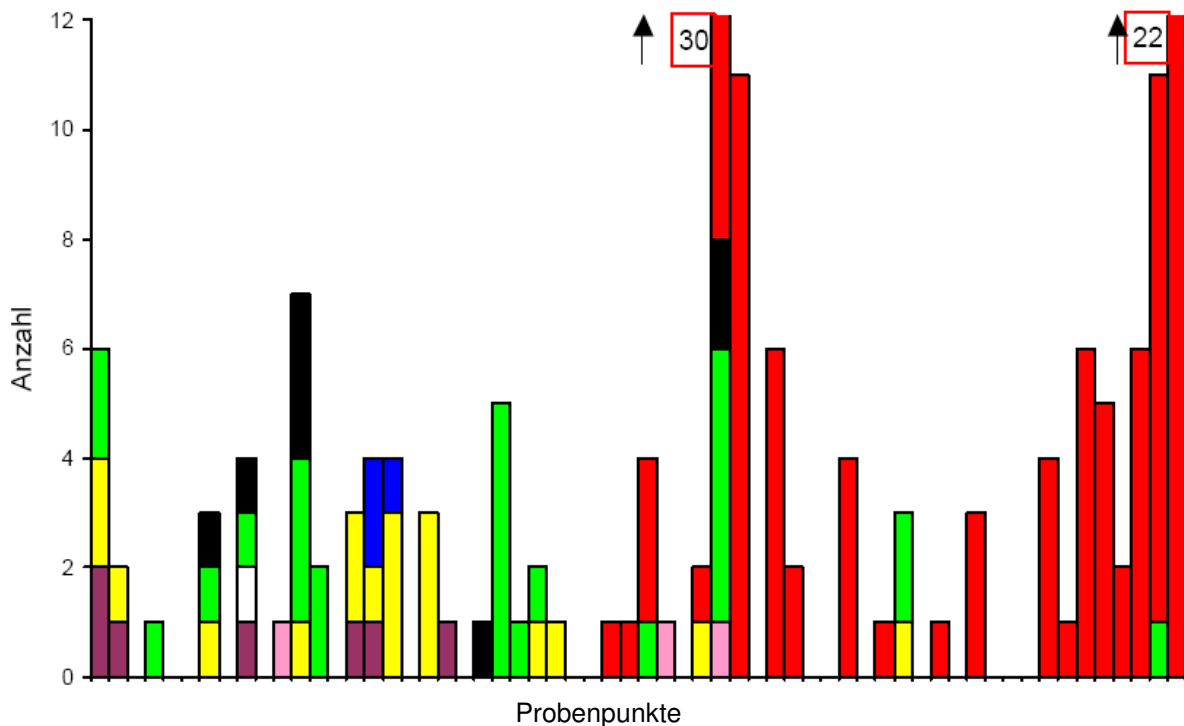


Abb. 42: Diagramm epigäischer Collembolen in T2 (KRAWCZYNSKI 2007): rot = *Cryptopygus thermophilus*; gelb = *Isotoma viridis*; grün = *Lepidocyrtus violaceus*; blau = *L. cyaneus*; pink = *L. paradoxus*; violett = *Brachystomella parvula*; schwarz = *Sminthuridae juv.*; weiß = *Entomobrya multifasciata*

Zieht man zu einer Gegenüberstellung das Diagramm des Transektes 2007 (Vergleichstransekt) der epigäischen Arten heran (Abb. 41), so zeigt sich, dass die Individuendichte an einigen Stellen, z.B. im Bereich des gewachsenen Landes, stark zugenommen hat. Des Weiteren hat sich die Zahl der epigäischen Collembolen von 8 Arten in T2 auf 11 im Vergleichstransekt erhöht. Eine gemeinsame Art beider Transekte ist z.B. die *Isotoma viridis* Gruppe. Im Unterschied zu T2 ist sie im Vergleichstransekt schon weit in den Kippenbereich vorgedrungen und konnte vor allem dort ihre Populationsdichte erhöhen. Im gewachsenen Land ist sie dagegen leicht rückläufig. Dass die *Isotoma viridis* Gruppe zunehmend gegen Ende des Transektes auftaucht, bestätigt die These von KRAWCZYNSKI (2006), dass sie in der Niederlausitz eher eine spätere Art im Sukzessionsverlauf ist und sich erst in den nächsten Jahren im Kippenbereich etablieren wird.

Auch *Entomobrya multifasciata* tritt in beiden Transekten auf, ihr Besiedlungsmuster hat sich kaum verändert. Sie kommt weiterhin nur punktuell im Bereich des gewachsenen Landes vor. Nur der Vergleichstransekt zeigt ein Vorkommen, das weit im Kippenbereich liegt.

Neben gemeinsamen Arten gibt es eine Reihe von Vertretern, die nur in einem der beiden Bereiche vorkommen. In T2 konnten folgende Arten im Gegensatz zum Vergleichstransekt nicht nachgewiesen werden: *Entomobrya nivalis*, *Lepidocyrtus lanuginosus*, *Pseudachorutes spec.* und *Xenylla maritima* sowie die Kugelspringerarten *Dicyrtoma fusca*, *Sminthurinus aureus*, *Sminthurus viridis* und *Sphaeridia pumilis*. Eventuelle Übereinstimmungen dieser mit *Sminthuridae juv.* aus T2 sind möglich, können aber nicht mehr nachgewiesen werden. Dass *Entomobrya nivalis* und *Lepidocyrtus lanuginosus* erst im Vergleichstransekt auftreten, liegt

vor allem daran, dass sie als typische Waldarten gelten. Die im Zuge der Sukzession aufgekommenen Kiefern im Untersuchungsgebiet bilden zunehmend dichte Bestände. Der Kronenschluss könnte also Vertreter des Waldstadiums begünstigen und Offenlandbewohner benachteiligen. *Xenylla maritima* tritt im Sukzessionsverlauf inzwischen an Standorten der Pionierarten auf, wodurch diese schrittweise zurückgedrängt werden. Die übrigen Arten des Vergleichstransektes, welche in T2 nicht vorkommen, sind aufgrund der geringen Fangzahlen möglicherweise Zufallsfunde, die bei der Untersuchung 2003 mit dem Beprobungsraster nicht erfasst wurden.

Einige Arten besiedelten T2, nicht aber den Vergleichstransekt wie *Cryptopygus thermophilus*, *Lepidocyrtus violaceus*, *L. cyaneus*, *L. paradoxus* oder *Brachystomella parvula*. Erstere gilt als xerotherme Art [RUSEK 1995 in KRAWCZYNSKI 2006], die offene Habitate bevorzugt [PONGE 1993 in KRAWCZYNSKI 2006]. Neben ihrer Eigenschaft als Kosmopolit ist sie thermophil und nitrophil [DUNGER 2001]. Bei *Cryptopygus thermophilus* konnte ebenfalls nachgewiesen werden, dass sie eine frühe Sukzessionsart auf aschebehandelten Standorten ist [SHAW 2003 in KRAWCZYNSKI 2006]. Möglicherweise profitierte die Art einige Zeit von den offenen Flächen.

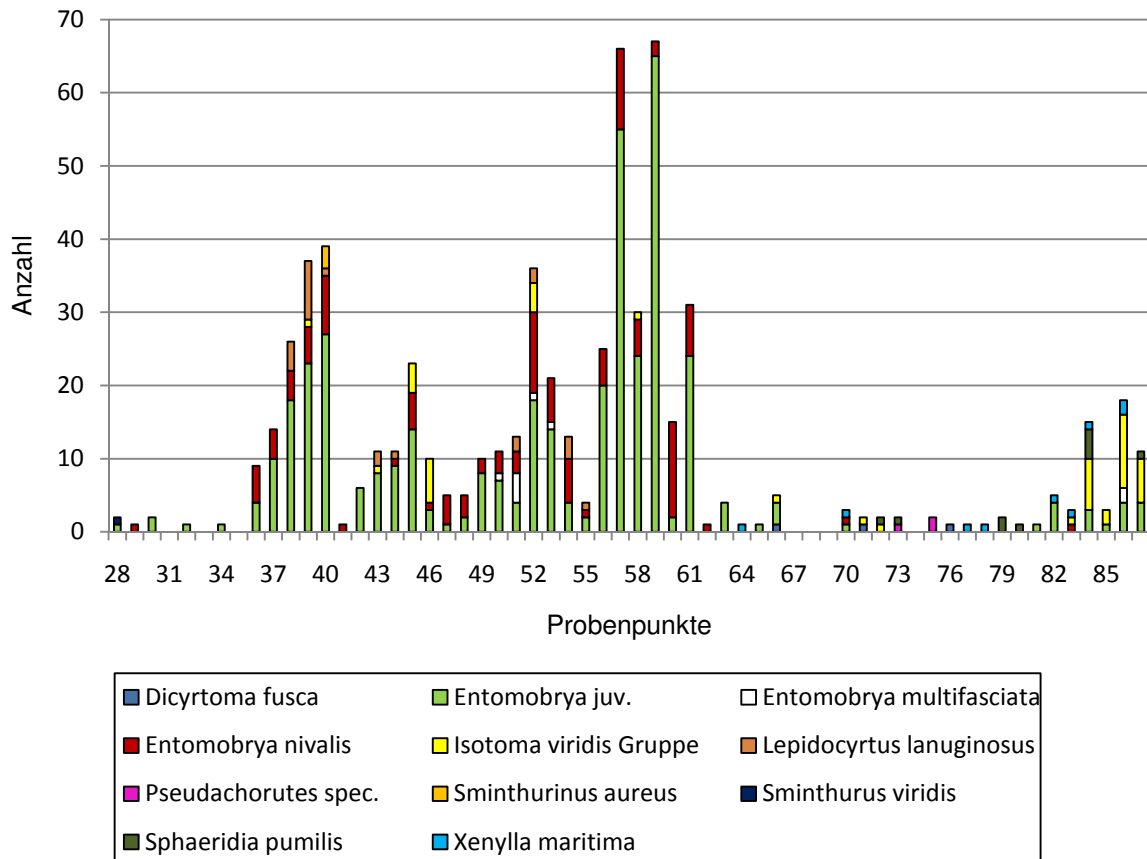
*Lepidocyrtus violaceus* ist ein Streubewohner, der sich häufig an Baumstämmen aufhält [FJELLBERG 1980] und Waldhabitate bevorzugt [STIERHOF 2003]. Warum diese Art 2007 nicht mehr vorkam, kann zum einen an der Auswahl der Beprobungsstandorte und -zeiten liegen und zum anderen daran, dass ungünstige Umweltfaktoren sie zurückgedrängt hat.

*Lepidocyrtus cyaneus* ist ein Vertreter des 2. Sukzessionsstadiums mit einer Präferenz für offene Standorte [ZERLING 1990 in KRAWCZYNSKI 2006]. Außerdem lebt er in Graslandschaften [MIGLIORINI et al. 2003 in KRAWCZYNSKI 2006] und in der Streu unterschiedlichster Pflanzengemeinschaften [FJELLBERG 1980]. Als typische Offenlandart ist *Lepidocyrtus cyaneus* möglicherweise durch die zunehmende Dominanz des Waldstadiums auf der Fläche zurückgedrängt worden.

*Lepidocyrtus paradoxus* ist wie *L. cyaneus* ein Bewohner des Graslandes [MIGLIORINI et al. 2003 in KRAWCZYNSKI 2006]. Des Weiteren tritt er im 1. Sukzessionsstadium [DUNGER 1991 in KRAWCZYNSKI 2006] und im frühen Stadium nach Aufforstungen auf [DUNGER 1997 in KRAWCZYNSKI 2006]. Daher müssen für das Fehlen der Art im Vergleichstransekt dieselben Gründe angeführt werden wie bei *L. cyaneus*.

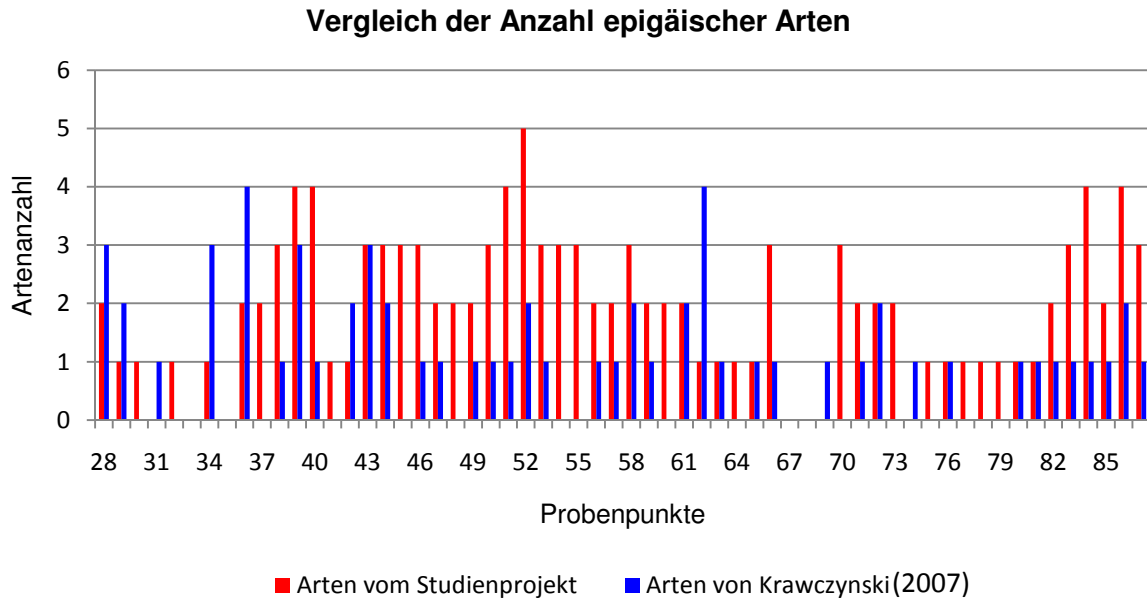
*Brachystomella parvula* ist ebenfalls im Grasland [CASSAGNAU 1961 in KRAWCZYNSKI 2006] und in jungen Aufforstungsflächen zu finden [DUNGER 1989 in KRAWCZYNSKI 2006]. Außerdem besiedelt der Springschwanz offene, feuchte Standorte [KRAWCZYNSKI 2006]. Dass er 2007 nicht mehr gefunden wurde, liegt möglicherweise an ihrer Eigenschaft als Vertreter der frühen Sukzessionsstadien zu gelten und an den trockenen Verhältnissen während der Probenahme im Sommer.

Ein Vergleich beider Transekte zeigt, dass Offenlandbewohner immer mehr den Waldarten weichen. Des Weiteren konnten sich mehr Arten ansiedeln und einige von ihnen ihre Populationsdichte stark erhöhen.



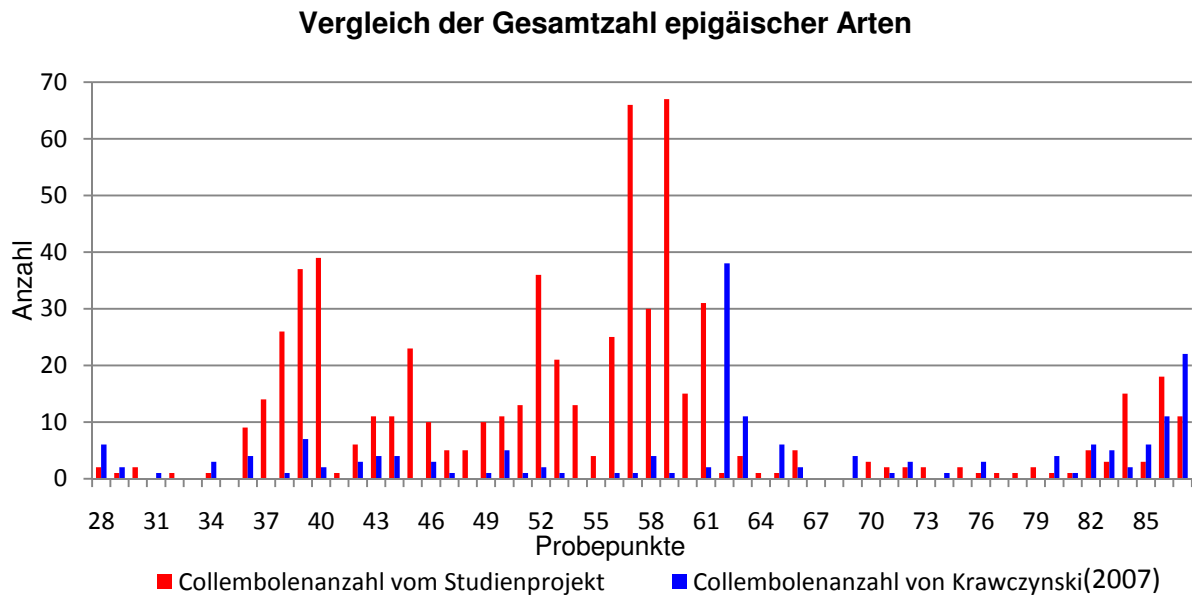
**Abb. 43: Diagramm der epigäischen Collembolen des Vergleichstransektes**

Ein Vergleich der Anzahl epigäischer Arten (Abb. 42) zeigt, dass der Vergleichstransekt zum überwiegenden Teil artenreicher ist als T2. Zu Beginn des Transektes hingegen ist bei der Untersuchung von 2003 eine höhere Artenzahl als bei der von 2007 zu verzeichnen. Nachfolgend wird die Anzahl der Vertreter im Vergleichstransekt häufig deutlich übertroffen. Die maximale Artenzahl in einer Probe liegt bei 4 in der Untersuchung von 2003, bei der von 2007 bei 5.



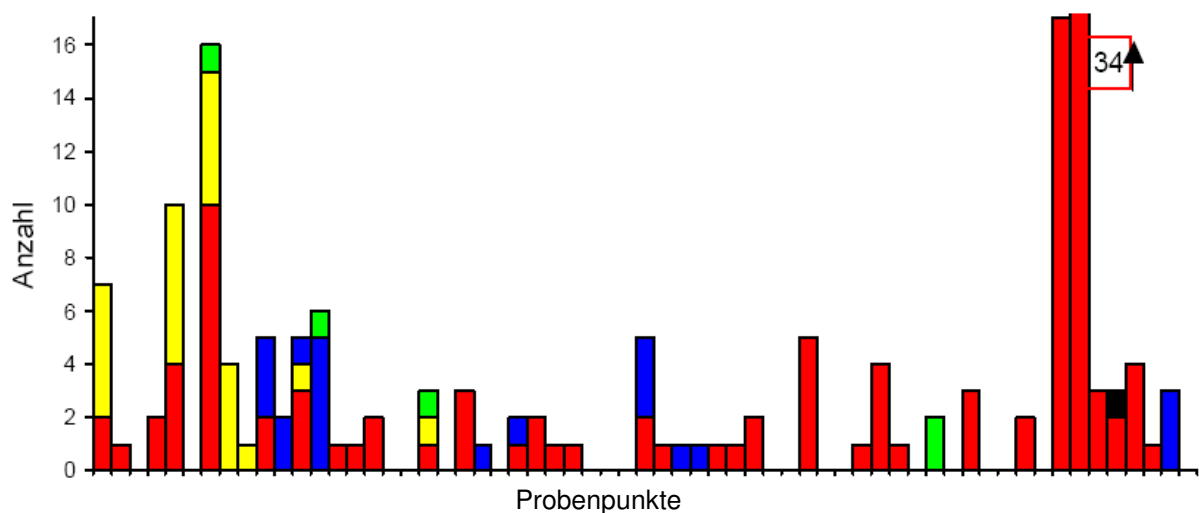
**Abb. 44: Diagramm zum Vergleich der epigäischen Arten von T2 und des Vergleichstransektes**

Das Diagramm der Gesamtzahl epigäischer Vertreter (Abb. 43) verdeutlicht, dass zwar prinzipiell mehr Arten entlang des Vergleichstransektes siedelten, es aber dennoch eine Verschiebung der Hauptvorkommen gegeben hat. In T2 trat ein Großteil der Collembolen im Übergangsbereich zwischen gewachsenem Land und dem Kippenbereich sowie gegen Ende des Transektes auf, wo ausschließlich verkipptes Material lagert. Beim Vergleichstransekt liegt der Besiedlungsschwerpunkt auf dem gewachsenen Substrat, mit Ausnahme der ersten Meter, wo die Populationen geringer sind. Die maximalen Individuendichten haben sich von 2003 zu 2007 fast verdoppelt von einem Höchstwert von 38 Tieren in einer Probe auf 67. Die voranschreitende Sukzession ermöglicht also immer mehr epigäischen Arten sich anzusiedeln und auch größere Bestände zu erreichen, da auch die Entwicklung einer strukturreichen Streuschicht voranschreitet.



**Abb. 45: Diagramm zum Vergleich epigäischer Individuendichten von T2 und des Vergleichstransektes**

Von den endogäischen Collembohlenarten konnten in T2 5 Vertreter nachgewiesen werden (Abb. 44): *Mesaphorura macrochaeta*, *Parisotoma notabilis*, *Frisea mirabilis*, *Folsomia fimetaria* und *Micranurida pygmaea*. Eine Art, *Mesaphorura macrochaeta*, besiedelt beinahe den gesamten Transekt und erreicht gegen Ende ihre größte Dichte. *Parisotoma notabilis* war stattdessen nur im Anfangsbereich zugegen. Sowohl zu Beginn des Transektes als auch gegen Ende kam *Folsomia fimetaria* vor. *Frisea mirabilis* besitzt nur einige punktuelle Vorkommen entlang des gesamten Abschnittes und *Micranurida pygmaea* nur eines am Ende.



**Abb. 46: Diagramm der endogäischen Collembohlen in T2 (verändert nach KRAWCZYNSKI, 2007): rot = *Mesaphorura macrochaeta*; gelb = *Parisotoma notabilis*; grün = *Frisea mirabilis*; blau = *Folsomia fimetaria*; schwarz = *Micranurida pygmaea***

Wie bereits bei den epigäischen Vertretern hat sich die Artenzahl bei den endogäischen Collembolen erhöht von 5 im Jahr 2003 auf 8 im Jahr 2007 (Abb. 45). Eine gemeinsame Art beider Untersuchungen ist u.a. *Mesaphorura macrochaeta*. Sowohl in T2 als auch im Vergleichstransect ist sie nahezu überall präsent, wobei bei letzterem die Individuendichte enorm anstieg. Die maximale Individuenzahl in einer Probe hat sich von 34 auf 732 erhöht. Die Art etabliert sich demnach im Kippenbereich und wird dort vorrausichtlich noch einige Zeit dominant sein, solange andere Arten in nicht zu großer Zahl auftreten.

*Parisotoma notabilis* kommt ebenfalls in beiden Transecten vor. War sie in T2 noch eher im gewachsenen Land verbreitet, so ist sie im Vergleichstransect inzwischen bis in den Kippenbereich vorgedrungen. Außerdem hatte sich auch hier ihre Population deutlich vergrößert von 6 Exemplaren auf 73. Als Kosmopolit breitet sich *Parisotoma notabilis* zunehmend im gesamten Transect aus und könnte bei einer weiteren Erhöhung der Bestandsdichte die Pionierart *Mesaphorura macrochaeta* weiter in die Kippe zurückdrängen und ihren Bestand verringern.

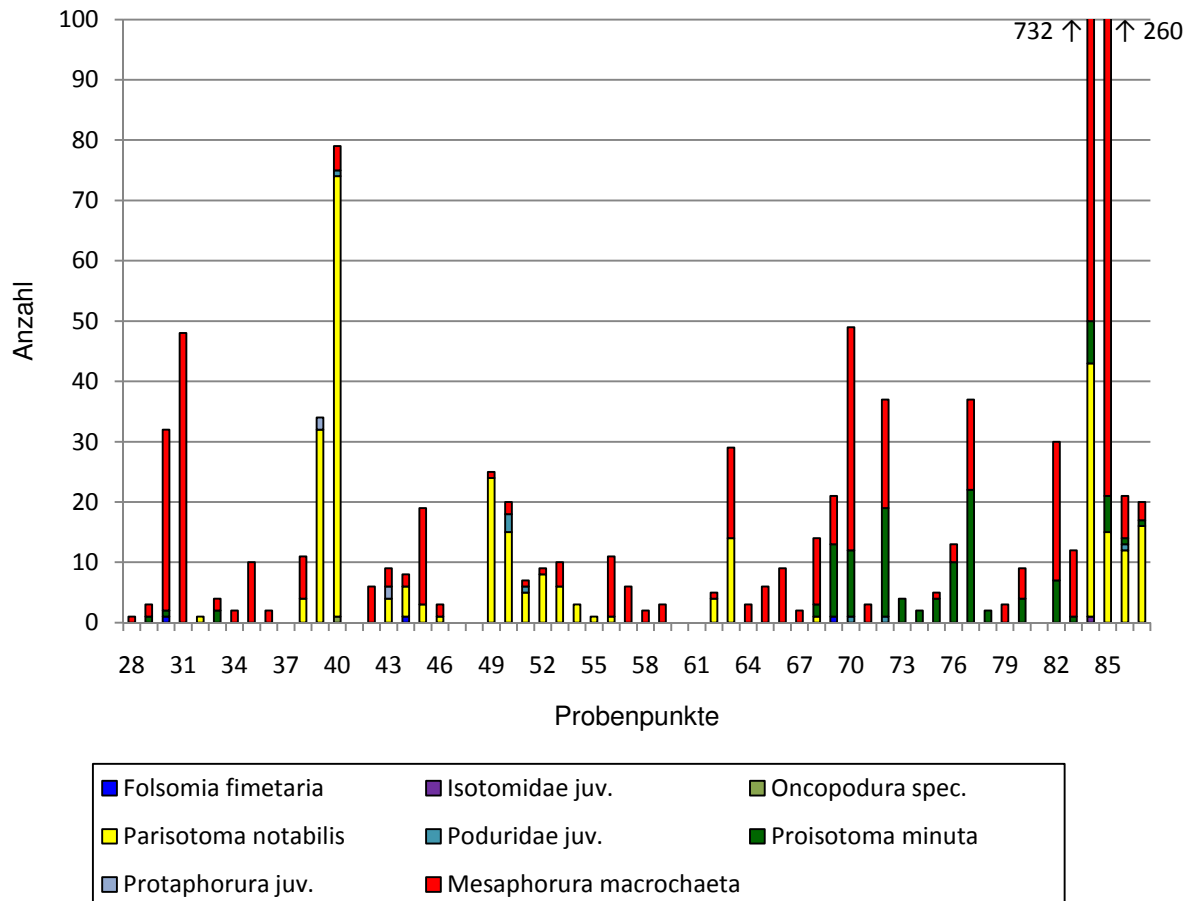
*Folsomia fimetaria* konnte ebenfalls in beiden Bereichen nachgewiesen werden, jedoch mit dem Unterschied, dass in T2 eine größere Zahl von Vorkommen existiert. Dort beträgt die maximale Individuenzahl in einer Probe 5 Tiere, im Vergleichstransect sind es hingegen nur noch Einzelfunde.

Zwei Arten sind ausschließlich in T2 gefunden worden: *Frisea mirabilis* und *Micranurida pygmaea*. Erstere gilt als acidophil [GISIN 1943 u. HAYBACH 1959 in KRAWCZYNSKI 2006]. Als carnivore Art [DUNGER 1997 in KRAWCZYNSKI 2006] ernährt sie sich u.a. von Nematoden [FJELLBERG 1980]. *Frisea mirabilis* ist ubiquistisch [TAMM 1986 in KRAWCZYNSKI 2006], meidet aber sehr trockene Standorte [FJELLBERG 1998]. Weiterhin ist sie eine typische Art der Nadelwälder [HAGVAR 1982 in KRAWCZYNSKI 2006]. *Micranurida pygmaea* ist ebenfalls acidophil [HAYBACH 1959 in KRAWCZYNSKI 2006] und kommt in einer Vielzahl von Habitaten vor [FJELLBERG 1998]. DUNGER (1997) nennt das frühe Waldstadium als einen bevorzugten Lebensraumtyp. Warum beide Arten im Vergleichstransect nicht mehr vorkommen, kann an dieser Stelle nicht eindeutig geklärt werden. Ein möglicher Grund könnte sein, da beide nur in geringer Zahl auftraten, dass das Probenraster sie nicht erfassen konnte. Außerdem könnten plötzlich aufgetretene negative Umwelteinflüsse, wie etwa Nahrungsknappheit durch eine Verringerung der Nematodenpopulation oder zunehmende Konkurrenz durch andere Arten in diesem Fall wie auch bei anderen Vertretern, für das Verschwinden der Arten verantwortlich sein.

Auch im Vergleichstransect gibt es einige Arten die nur dort vorkommen: *Protaphorura juv.*, *Isotomidae juv.*, *Poduridae juv.*, *Oncopodura spec.* und *Proisotoma minuta*. Bis auf letztere weisen alle Vertreter nur kleine Populationen auf, sodass ihr Fehlen in T2 zufällig sein könnte. Allein *Proisotoma minuta* ist weiter verbreitet. Trotzdem besteht die Möglichkeit, dass sie 2003 durch das Probenraster nicht erfasst wurde, schließlich hat sie ein viel kleineres Vorkommen als die andere Pionierart *Mesaphorura macrochaeta*.

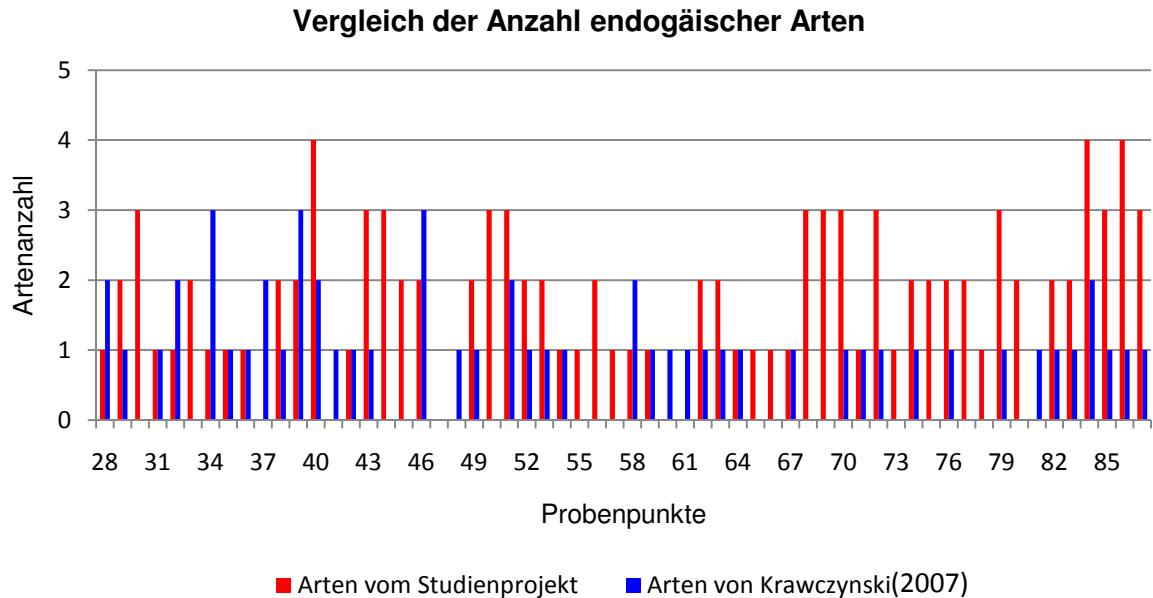
Bei den endogäischen Arten hat es weniger Veränderungen in der Artenzusammensetzung gegeben als bei den epigäischen, da die Bodenentwicklung sich wahrscheinlich langsamer vollzieht.





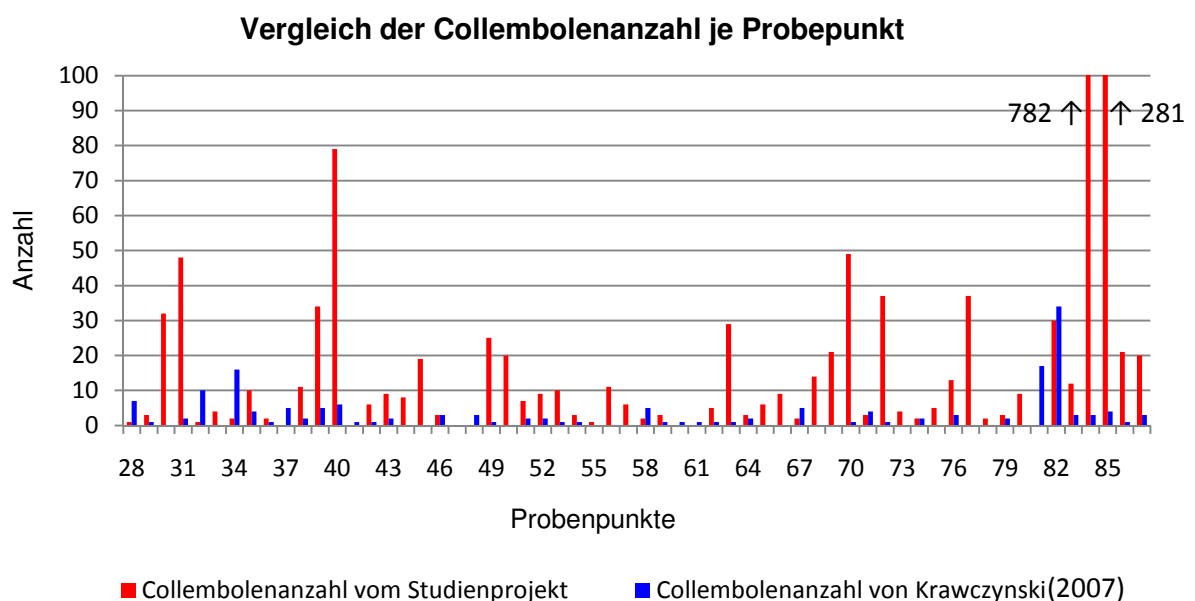
**Abb. 47: Diagramm der endogäischen Collembolen des Vergleichstransektes**

Bei den endogäischen Arten sind im Vergleichstransekt im Allgemeinen mehr Arten vertreten als in T2 (Abb. 46). Dies trifft vor allem auf den Kippenbereich und einige Bereiche des gewachsenen Landes zu. Nur zu Beginn des Transektes gibt es einige Standorte, wo bei T2 die Artenzahl höher lag. Die maximale Artenzahl in einer Probe unterscheidet sich kaum: 2003 waren es maximal 3 Vertreter und 2007 4.



**Abb. 48: Diagramm zum Vergleich der endogäischen Arten von T2 und des Vergleichstransektes**

Die Gesamtindividuenzahl beider Transekte unterscheidet sich stark voneinander (Abb. 47). Die meisten Tiere wurden 2007 aus den Proben des Kippenbereiches extrahiert, die Höchstzahl liegt dort bei 782 Exemplaren in einer Probe. Aber auch die vorherigen Probenpunkte heben sich trotz geringerer Individuenzahlen noch deutlich von denen in T2 ab. Der Höchstwert von 2003 ist mit 34 Tieren belegt. Dort treten im Kippenbereich, aber auch an einigen Stellen zu Beginn des Transektes die meisten Collembolen auf. Dass die Gesamtzahl im Vergleichstransekt so deutlich über der von T2 liegt, ist fast ausschließlich *Mesaphorura macrochaeta* zuzuschreiben, welche als Pionierart durch ihre hohe Vermehrungsrate Massenvorkommen bilden kann.



**Abb. 49: Diagramm zum Vergleich endogäischer Individuendichten von T2 und des Vergleichstransektes**

## 4.5 Schlussfolgerungen

Um aus der vorliegenden Arbeit Schlussfolgerungen herauszuarbeiten, werden die in der Einleitung aufgestellten Thesen nochmals aufgegriffen:

- I Die Collembolenzönose wird maßgeblich von der Primärsukzession der Pflanzen beeinflusst.
- II Die Collembolenzönose ist im Kippenbereich und im gewachsenen Land verschieden.
- III Jede Collembolentart besitzt unterschiedliche Toleranzbereiche bezüglich der Bodenparameter.

Der ersten These kann uneingeschränkt zugestimmt werden. Zu Beginn der Primärsukzession treten vor allem Pionierarten wie *Mesaphorura macrochaeta* oder *Proisotoma minuta* auf. Schreitet die Sukzession fort, können sich immer mehr Offenlandarten ansiedeln, die klassischerweise keine Erstbesiedler mehr sind, allen voran Ubiquisten wie *Parisotoma notabilis*. Arten wie diese sind der erste Schritt hin zu gemäßigteren Bodenverhältnissen. Mit der stetig größer werdenden Baumvegetation und dem sich anschließenden Kronenschluss treten vermehrt typische Waldbewohner wie *Entomobrya nivalis* auf. Pionierarten sind dann längst verschwunden oder weit zurückgedrängt.

Die zweite These lässt sich nur bedingt bestätigen. Zu Beginn der Sukzession mag sie noch zutreffend sein, aber im weiteren Verlauf wandern zunehmend mehr Arten vom gewachsenen Land in die Kippe hinein. Möglich wird dies durch die sich verbessernden Bodenparameter, wofür Erstbesiedler die maßgebenden Wegbereiter sind. Mit der Sukzessionsentwicklung wird auch die Streuschicht aufgewertet. Es bilden sich immer mehr Nischen, die vor allem auf die Populationen epigäische Vertreter positive Effekte haben. Den durch Windverfrachtung in das Gebiet eingeführten Arten wird durch die verbesserten Bodenverhältnisse eine Ansiedlung erleichtert, auch wenn dies nicht für alle Arten uneingeschränkt zutrifft. Ein Vergleich der Untersuchungen von 2003 und 2007 hat gezeigt, dass sich sowohl Artenzahlen als auch Individuendichten erhöhten parallel zu den pH-Wert-Anstiegen. Dennoch sind durch die Pyriteinlagerungen im Boden noch über lange Zeit hinweg Schwankungen der Verhältnisse möglich. Diese Heterogenität schafft ein Mosaik verschiedenster Artengemeinschaften. Eng gekoppelt ist diese neben der Vegetationsentwicklung auch an die Nährstoffakkumulationen, die sich im Zuge der Sukzession langfristig gesehen erhöhen.

Für die dritte These ist keine eindeutige Aussage möglich. Zwar zeigen einzelne Arten bei einigen Parametern gewisse Präferenzen an, diese überschneiden sich jedoch innerhalb der Zönose sehr stark. Ein Grund dafür könnte sein, dass Vertreter ehemaliger Tagebaugelände großen Schwankungen der Umwelteinflüsse unterliegen. Eine zu starke Einschränkung auf bestimmte Bereiche würde sich negativ auf das weitere Fortbestehen der Art im Gebiet auswirken. Die Überschneidung der Toleranzbereiche birgt aber auch die Ausbildung von Konkurrenzverhalten in sich, sodass eine Nischenbildung bis zu einem gewissen Maß doch möglich ist und zur Heterogenität beiträgt.

## 5 Zusammenfassung

Für die vorliegende Arbeit diente das ehemalige Tagebaugebiet der Schlabendorfer Felder als Untersuchungsfläche. Im Südteil nahe Bergen erfolgte mit Hilfe der Transektmethode eine Analyse des Übergangsbereiches zwischen gewachsenem Land und Kippe. Hierfür wurden zu zwei unterschiedlichen Probenahmezeitpunkten 2 hintereinander folgende Abschnitte in das Gebiet gelegt, wovon jeder 30 m betrug. Entlang dieser Transekte fanden Probenentnahmen für die Extraktion der Collembolen und die Bestimmung der Bodenparameter statt, jeweils 61 für die Analysen eines Durchganges. Die beiden Beprobungen fielen auf den 12.06. und 27.10.2007. Folgende Bodenparameter wurden herangezogen: pH-Wert, maximale Wasserhaltekapazität, Humusgehalt, Leitfähigkeit, Kalkgehalt, Wassergehalt, Trockensubstanz sowie die Nährstoffe Ammonium, Phosphor und Nitrat. Der überwiegende Teil ergab konkrete Aussagen über den Grenzverlauf zwischen Tagebau- und Nichttagebaugebiet. In der Regel ging der Messwertverlauf im Kippenbereich deutlich nach unten und variierte stärker. Nur Wasser- und Nitratgehalt ließen diesbezüglich keine Aussagen zu.

Das Austreiben der Collembolenfauna mit Hilfe des MACFAYDEN-Extraktors ergab eine Gesamtzahl von 5115 Tieren in beiden Transekten. Den überwiegenden Teil davon stellte *Mesaphorura macrochaeta* mit annähernd 70 %, gefolgt von *Entomobrya juv.* mit ca. 11 %.

Die durchgeführte Dominanz nach ENGELMANN zur Analyse der Collembolenzönose kam für die verschiedenen Bereiche zu unterschiedlichen Ergebnissen. Im 1. Durchgang verhält sich *Entomobrya juv.* dominant neben *Mesaphorura macrochaeta* und *Parisotoma notabilis*. Im 2. Durchgang hingegen ist *Mesaphorura macrochaeta* eudominant, alle anderen Arten spielen nur eine geringe Rolle. Die Aufstellung des Gesamttransektes stellt einen Durchschnitt der anderen Abschnitte dar. Hier verkörpert *Mesaphorura macrochaeta* die eudominante Art, *Entomobrya juv.* und *Parisotoma notabilis* werden als subdominant eingestuft.

Eine weitere Methode zur Untersuchung der Collembolenfauna stellte die Arbeit mit dem Statistikprogramm SPSS dar. Die Varianzanalyse sollte Verbindungen von Arten zu bestimmten Bodenparametern aufdecken. Es zeigten sich kaum Zusammenhänge bei pH-Wert und Phosphorgehalt. Nahezu alle Arten wiesen stattdessen Präferenzen bei der Leitfähigkeit auf. Bei Humus, Ammonium und maximaler Wasserhaltekapazität zeigte ein Großteil der Vertreter Korrelationen an. Um das gemeinsame Auftreten verschiedener Vertreter zu erkennen, wurden Korrelations- und Kontingenzanalysen mittels SPSS durchgeführt. Die Mehrheit der Artenkombinationen ergab sich für den Gesamttransekt, die wenigsten für den 2. Abschnitt. Keine der ermittelten Konstellationen galt für alle Bereiche. Pionierarten zeigten am seltensten eine Verbindung zu einer anderen Art an.

Für die Dokumentation der Entwicklung der Collembolenzönose wurden für Vergleichszwecke Daten von KRAWCZYNSKI (2007) aus dem Jahr 2003 herangezogen. Es zeichnete sich ab, dass viele Offenlandbewohner nicht mehr zugegen waren; vermehrt jedoch die des Waldes und Vertreter des frühen Waldstadiums. Die Erstbesiedler konnten sich hingegen weiter behaupten. Der vollzogene Artenwechsel zwischen 2003 und 2007 ist teilweise enorm, besonders bei den epigäischen Collembolen.

## 6 Quellen

BACKHAUS, K.; ERICHSON, B.; PLINKE, W. & WEIBER, R. (1994): Multivariate Analysemethoden, Eine anwendungsorientierte Einführung, 7. Auflage, Springer-Verlag, Berlin•Heidelberg, 56-187

BEGON, M.; HARPER, J. L. & TOWNSEND, C. R. (1991): Ökologie, Individuen, Populationen und Lebensgemeinschaften, Birkhäuser Verlag, Basel•Boston•Berlin, 696-716

BODENWELTEN.DE: <sup>1</sup> [http://www.bodenwelten.de/bod\\_schatz/bod\\_humus.htm#](http://www.bodenwelten.de/bod_schatz/bod_humus.htm#); Stand 24.05.2007

BRAUNKOHLENAUSSCHUSS (1993): Sanierungsplan Schlabendorfer Felder, 1-72

DUNGER, W. (1989): Tiere im Boden, 3.Auflage, Westarp Wissenschaften-Verlagsgesellschaft mbH, Hohenwarsleben

DUNGER, W. [Ed.] (1994): Palaearctic Collembola, Vol. 1, Abh. Ber. Naturkundemus. Görlitz, Band 68, Nummer 4, 1-17

DUNGER, W. (1997): Untersuchungen zur Fauna 35-jähriger aschemeliorierter Kipfböden, 1-86

DUNGER, W. [Ed.] (1999): Synopsis on Palaearctic Collembola, Vol. 2. Abh. Ber. Naturkundemus. Görlitz, Band 71, Heft 1, 1-318

DUNGER, W. [Ed.] (2001): Synopsis on Palaearctic Collembola, Vol. 3. Abh. Ber. Naturkundemus. Görlitz, Band 73, Heft 2, 1-603

DUNGER, W. [Ed.] (2004): Synopsis on Palaearctic Collembola, Vol. 4. Abh. Ber. Naturkundemus. Görlitz, Band 75, Heft 2, 1-287

EHRNSBERGER, R. (1993): Bodenmesofauna und Naturschutz. Bedeutung und Auswirkungen von anthropogenen Maßnahmen, Verlag Günter Runge, Cloppenburg

EISENBEIS, G. & WICHARD, W.(1985): Atlas zur Biologie der Bodenarthropoden, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart•New York, 200-229

ELLENBERG, H.; WEBER, H. E.; DÜLL, R.; WIRTH, V.; WERNER, W. & PAULIßEN, D.(1992): Zeigerwerte von Pflanzen im Mitteleuropa, 2. Auflage, Scripta Geobotanica XVIII, Goltze • Göttingen, 15-69

ENGELMANN, H.-D. (1978): Zur Dominanzklassifizierung von Bodenarthropoden. Pedobiologia, Heft 18, 378-380

- FJELLBERG, A. (1980): Identification keys to Norwegian Collembola, Norsk Entomologisk Forening, AS-NLH, 1-152
- FJELLBERG, A. (1998): The Collembola of Fennoscandia and Denmark: Part 1: Poduromorpha, Fauna entomologica Scandinavica, Volume 35, 1-183
- GISI, U. (1990): Bodenökologie, Georg Thieme Verlag, Stuttgart • New York, 184-186
- GISIN, H. (1960): Collembolenfauna Europas, Museum d`histoire naturelle, Genf, 1-312
- HARTGE, K. H. & HORN, R. (1991): Einführung in die Bodenphysik, Ferdinand Enke, 2. Auflage, Stuttgart, 235-253
- HENZE, N. (2008): Stochastik für Einsteiger, Eine Einführung in die faszinierende Welt des Zufalls, Friedr. Vieweg & Sohn Verlag, 7. Auflage, Wiesbaden, 239
- HOPKIN, S. P. (1997): Biology of the Springtails: Insecta: Collembola, Oxford University Press, Oxford
- KRAWCZYNSKI, R. (2006): Succession of Collembola in the post-mining landscape of Lower Lusatia, Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades, Brandenburgische Technische Universität Cottbus, 1-202
- KRAWCZYNSKI, R. (2007): Veränderungen in der Collembolenzönose beim Übergang vom gewachsenen Land in die Bergbaufolgelandschaft, - In: WÖLLECKE, J.; ANDERS, K.; DURKA, W.; ELMER, M.; WANNER, M. & WIEGLEB, G. (Hrsg.): Landschaft im Wandel, Natürliche und anthropogene Besiedlung der Niederlausitzer Bergbaufolgelandschaft, Shaker Verlag, 93-109
- KÜHNELT, W. (1950): Bodenbiologie, Verlag Herold, Wien,
- MACFAYDEN, A. (1961): Improved tunnel-type extractors for soil arthropods, J. Anim. Ecol., Heft 30, 171-184
- MAJER, J. D. (1989): Animals in primary succession, The role of fauna in reclaimed lands, Cambridge University Press, Cambridge•New York•Port Chester•Melbourne•Sydney, 307-337
- MÜLLER, G. (1965): Bodenbiologie, VEB Gustav Fischer Verlag, Jena, 170-761
- SACHS, L. (1972): Statistische Auswertungsmethoden, Springer-Verlag, 3. Auflage, Berlin•Heidelberg•New York, 288
- SCHEFFER, F. & SCHACHTSCHABEL, P. (1998): Lehrbuch der Bodenkunde, 14. Auflage, Ferdinand Enke, Stuttgart, 50-307

SCHLICHTING, E.; BLUME, H.-P. & STAHR K. (1995): Bodenkundliches Praktikum, Eine Einführung in pedologisches Arbeiten für Ökologen, insbesondere Land- und Forstwirte und für Geowissenschaftler, Blackwell Wissenschafts-Verlag, 2. Auflage, Berlin•Wien, 131-256

SEIDL-LAMPA, B.: Ökologisches Anfängerpraktikum – Bodenökologie, Online verfügbar unter: [http://www-1.tu-cottbus.de/BTU/Fak4/AllgOeko/scripte\\_deutsch/oekologprakt/oekoprak2005\\_d.pfd](http://www-1.tu-cottbus.de/BTU/Fak4/AllgOeko/scripte_deutsch/oekologprakt/oekoprak2005_d.pfd) (Skript), 2005, zuletzt geprüft im (Oktober 2006), 1-23

STIERHOF, T. (2003): Collembolengemeinschaften in baden-württembergischen Waldböden, Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades, Justus-Liebig-Universität Gießen, 1-518

STRESEMANN, E. (1994): Exkursionsfauna von Deutschland, Wirbellose: Insekten – 1. Teil, Gustav Fischer Verlag Jena, Auflage 8, Band 2/1, 45-52

TOWNSEND, C. R.; HARPER, J. L. & BEGON, M. E. (2003): Ökologie, Springer-Verlag, Berlin•Heidelberg•New York, 31, 89, 385, 389

TOPP, W. (1981): Biologie der Bodenorganismen, Quelle und Meyer, Heidelberg

VOIGT, U.: Lausitzer Wetter Doberlug-Kirchhain, Online verfügbar unter <http://www.lausitzwetter.de/Erweiterte%20Datenbank/m200706.htm>, 2008, zuletzt geprüft am (29.07.2009)

VOIGT, U.: Lausitzer Wetter Doberlug-Kirchhain, Online verfügbar unter <http://www.lausitzwetter.de/Erweiterte%20Datenbank/m200710.htm>, 2008, zuletzt geprüft am (29.07.2009)

WERMBTER, N. (1999): Bodenbiologische Eigenschaften von Kippenböden im Leipziger und Lausitzer Braunkohlerevier in Abhängigkeit von Substrat, Nutzung, Bodenbearbeitung und Alter, Universität Trier, Abt. Bodenkunde, Trier

WIKIPEDIA.ORG: <sup>2</sup> <http://www.wikipedia.org/wiki/Leit%C3%A4higkeit>, Oktober 2006

WÖLLECKE, B. (2006): Einfluß von Acker- und Waldnutzung auf Wasseraufnahme und Wasserspeicherung von Löss- und Sandböden, Brandenburgische Technische Universität Cottbus, Band 35

ZERLING, L. (1990): Zur Sukzession von Kleinarthropoden, insbesondere Collembolen, im Bodenbildungsprozess auf eine landwirtschaftlich genutzten Braunkohlekippe bei Leipzig, Pedobiologia, Heft 34, 315-355

ZETTEL, J. (1999): Blick in die Unterwelt, Ein illustrierter Bestimmungsschlüssel zur Bodenfauna, Verlag Agrarökologie, Bern•Hannover, 20-22, 76-79

## 7 Anhang

### 7.1 Steckbrief Collembolen

Die Ordnung Collembolen gehört in der Systematik zum Stamm der Arthropoda (Gliederfüßer), zur Überklasse der Hexapoda (Sechsfüßer) und zur Klasse der Entognatha (Sackkiefler) [HOPKIN 1997]. Sie treten häufig in großen Populationen auf. Ihr Verbreitungsraum erstreckt sich über die gesamte Erde, teilweise sogar bis in die Antarktis. Die Tiere werden 0,2-9 mm groß und können je nach Art auch bei niedrigen Temperaturen noch aktiv sein. Einige Arten verharren bei Temperaturen von -25 - -30 °C in einer Ruhephase. In ihrer Körperflüssigkeit reichert sich mehr und mehr von einer Art Frostschutzmittel an bestehend aus Glycerin, Sorbit, Trehalose, Alanin und Lactat [KÜHNELT 1950].

In Waldböden ist die Arten- und Individuendichte der Collembolengemeinschaft in der Regel am höchsten. Ackerböden sind vergleichsweise artenarm und dünner besiedelt. In der Bergbaufolgelandschaft erfolgt eine Besiedlung durch Collembolenzönosen erst allmählich, vor allem durch Windeintrag. Mit zunehmendem Alter der Böden steigen Arten- und Individuenzahlen zunächst bis zu einem gewissen Grad an und können schließlich je nach Sukzessionsverlauf auch wieder arten- und individuenärmer werden. Die einzelnen Arten reagieren spezifisch auf die Bodenparameter, was sich in ihrem teilweise punktuellen Vorkommen widerspiegelt. In welcher Weise die einzelnen Parameter oder deren Kombinationen auf die Arten wirken, ist derzeit Gegenstand der Forschung und noch detaillierter zu ergründen [KÜHNELT 1950].

In den obersten 5 – 10 cm des Bodens sind Collembolen am häufigsten anzutreffen, bei gepflügten Ackerböden sogar bis in 20 cm Tiefe, dann aber spärlicher [KÜHNELT 1950]. Die bodenbiologische Bedeutung von Springschwänzen ist sehr vielfältig. Zum einen können sie durch ihre Fraßleistung die Oberfläche der abzubauenden organischen Substanz vergrößern. Sie schaffen so mehr Angriffsfläche für Mikroflora. Außerdem beweiden sie Pilz- und Bakterienkolonien und fördern dadurch deren Aktivität und beugen einer Überalterung der Bestände vor. Collembolen haben des Weiteren Bedeutung bei der Verbreitung von Sporen durch ihren Kot. Dieser wiederum liefert gleichzeitig neues Substrat für das mikrobielle Wachstum [ZETTEL 1999]. Aber Collembolen haben viele Feinde, an der Bodenoberfläche sind es vor allem Spinnen und Käfer und im Boden Käferlarven und räuberische Milben [TOPP 1981].

Da Springschwänze die Bodenbestandteile mechanisch zerkleinern, tragen sie wesentlich zur Bodenersetzung bei. Ihre Nahrung sind, je nach Art, Pflanzenreste wie Algen [TOPP 1981], Mikroorganismen, Tierleichen und einige spezialisierte Vertreter ernähren sich sogar von unzersetztem Holz. Je nach Klima können bis zu 12 Generationen im Jahr aufkommen. Collembolen lassen sich bezüglich ihres Körperbaus in 2 Formen unterscheiden: 1. in langgestreckte, zylindrisch gebaute Arthropleona und 2. in rundlich-kugelige Symphypleona, bei denen die Körpersegmente verschmolzen sind. Ebenso ist eine Unterteilung in Lebensformtypen möglich. Epedaphische Springschwänze leben auf dem Boden und in der Streuschicht. Verglichen mit den übrigen Formen sind sie besonders groß sowie dicht behaart oder beschuppt und stark pigmentiert. Ihre Augen sind gut entwickelt, so wie auch die lange Sprunggabel, die der Flucht dient. Einige Arten haben sogenannte Pseudocellen. Das sind



ringförmige Öffnungen, die auf dem gesamten Körper verteilt sind. Bei einer Reizung reißen dünne Häutchen, es tritt eine zähklebrige Substanz aus, die toxisch ist. Sie verklebt die Mundwerkzeuge von Raubmilben. Es kommt vor, dass der Angreifer daraufhin stirbt [EHRNSBERGER 1993]. Epedaphische Springschwänze unternehmen im Verlaufe eines Tages oft Vertikalwanderungen, immer in Abhängigkeit von den lokalen Feuchtigkeitsverhältnissen [ZETTEL 1999].

Euedaphische Collembolen bewohnen die untere Bodenschicht. Sie sind viel kleiner als epedaphische Formen und selten größer als 1 mm. Ihr Körper ist langgestreckt, wurm- oder walzenförmig. Antennen und Beine sind kurz und die Sprunggabel ist funktionslos oder stark reduziert. Sie sind außerdem weniger behaart und pigmentiert, ihre Augen fehlen. Dafür haben sie gut entwickelte Sinnesborsten und ebenfalls Pseudocellen für die passive Abwehr. Euedaphische Arten weisen einen viel höheren Sauerstoffverbrauch auf und sind kohlendioxidresistenter als epedaphische Formen. Außerdem gibt es hemiedaphische Collembolen, d.h. sie können sowohl epedaphisch als auch euedaphisch leben [ZETTEL 1999]. Collembolen besitzen spezielle Organe, die es ihnen ermöglichen, mit den extremen Bedingungen in der Bergbaufolgelandschaft zurechtzukommen. Mit Hilfe des Ventraltubus auf der Bauchunterseite als stempelartiges Organ, sind sie in der Lage, auf einen erhöhten Salzgehalt, pH-Wert-Absenkungen und Änderungen in der Substratfeuchte zu reagieren. Aufgabe des Organs ist der Transport von Wasser und Ionen. Es setzt sich zusammen aus einer Basalplatte, einem Zylinder, Tubusklappen und Tubusblasen. Bei Wassermangel presst das Tier die Blasen heraus, um den Mangel zu reduzieren. Dies geschieht innerhalb weniger Minuten. Selbst wenn kein Wasser mehr in trinkbarer Form vorliegt, kann Flüssigkeit durch die Aufnahme von Restfeuchte von Blattoberflächen oder aus dem Boden in den Organismus gelangen [EISENBEIS 1985]. Trocknet die Bodenoberfläche aus, folgen die Collembolen dem Feuchtigkeitsgefälle, d.h. sie dringen tiefer in den Boden ein. Ist ein Eindringen in den Boden wegen zu kleiner Poren nicht möglich, so fliehen sie zu einer anderen Stelle, wo sie tiefer in den Boden hinein können [TOPP 1981].

Einige Arten betreiben bei ungünstigen Umweltbedingungen Anhydrobiose, d.h., sie verlieren 97 – 98 % des Körpergewichtes durch Wasserverlust und überstehen so schlechte Bedingungen, ohne Schaden zu nehmen [EHRNSBERGER 1993].

## 7.2 Tabellen

Tab. 11: Standartabweichungen für die Bodenparameter

| Bodenparameter               | 1. Transekt | 2. Transekt |
|------------------------------|-------------|-------------|
| pH-Wert (CaCl <sub>2</sub> ) | 0,84        | 0,68        |
| pH-Wert (VE-Wasser)          | 0,89        | 0,77        |
| Kalkgehalt                   | 1,61        | 0,96        |
| Wassergehalt                 | 2,39        | 1,21        |
| Maximale Wasserkapazität     | 18,39       | 10,46       |
| Humusgehalt                  | 4,13        | 0,67        |
| Nitratgehalt                 | 0,60        | 0,60        |
| Ammoniumgehalt               | 1,11        | 0,10        |
| Phosphorgehalt               | 2,27        | 0,39        |
| Leitfähigkeit                | 49,68       | 23,85       |

Tab. 12: Bodenparameter des Gesamttransektes Teil 1

| Probe | Leitfähigkeit<br>[μS/cm] | TDS [mg/l] | Salinität [%] | pH-Wert H <sub>2</sub> O | pH-Wert CaCl <sub>2</sub> | Max.<br>Wasserkapazität [%] | Humusgehalt [%] |
|-------|--------------------------|------------|---------------|--------------------------|---------------------------|-----------------------------|-----------------|
| 1     | 58,8                     | 59         | 0             | 4,66                     | 4,14                      | 8,03                        | 10,10           |
| 2     | 81,0                     | 81         | 0             | 4,29                     | 3,79                      | 8,72                        | 10,07           |
| 3     | 58,7                     | 59         | 0             | 4,87                     | 4,33                      | 12,35                       | 11,03           |
| 4     | 174,8                    | 174        | 0             | 5,03                     | 4,53                      | 12,19                       | 15,79           |
| 5     | 107,7                    | 108        | 0             | 6,06                     | 5,66                      | 13,59                       | 9,70            |
| 6     | 130,6                    | 131        | 0             | 7,47                     | 7,08                      | 25,31                       | 10,41           |
| 7     | 111,3                    | 111        | 0             | 8,13                     | 7,47                      | 37,59                       | 2,44            |
| 8     | 202,0                    | 201        | 0             | 7,74                     | 7,32                      | 53,16                       | 8,12            |
| 9     | 181,6                    | 182        | 0             | 7,77                     | 7,37                      | 61,34                       | 7,58            |
| 10    | 183,9                    | 183        | 0             | 7,83                     | 7,38                      | 62,49                       | 8,08            |
| 11    | 144,2                    | 145        | 0             | 7,91                     | 7,37                      | 56,17                       | 6,65            |
| 12    | 105,5                    | 105        | 0             | 8,31                     | 7,54                      | 36,21                       | 1,40            |
| 13    | 147,5                    | 148        | 0             | 8,00                     | 7,48                      | 63,74                       | 5,36            |
| 14    | 116,2                    | 116        | 0             | 8,26                     | 7,59                      | 38,38                       | 2,72            |
| 15    | 83,8                     | 84         | 0             | 8,38                     | 7,59                      | 35,46                       | 1,48            |
| 16    | 117,2                    | 117        | 0             | 7,94                     | 7,37                      | 49,29                       | 3,13            |
| 17    | 128,8                    | 129        | 0             | 8,00                     | 7,38                      | 52,27                       | 3,23            |
| 18    | 102,0                    | 102        | 0             | 8,18                     | 7,50                      | 38,72                       | 2,03            |
| 19    | 107,5                    | 107        | 0             | 8,15                     | 7,49                      | 41,49                       | 2,69            |
| 20    | 80,6                     | 81         | 0             | 8,30                     | 7,52                      | 30,89                       | 1,37            |
| 21    | 77,1                     | 77         | 0             | 8,43                     | 7,37                      | 15,58                       | 1,68            |
| 22    | 108,0                    | 108        | 0             | 8,08                     | 7,31                      | 39,64                       | 2,54            |
| 23    | 103,2                    | 103        | 0             | 8,37                     | 7,68                      | 27,23                       | 2,60            |
| 24    | 104,4                    | 104        | 0             | 8,13                     | 7,42                      | 9,53                        | 4,29            |
| 25    | 107,1                    | 107        | 0             | 8,28                     | 7,49                      | 22,26                       | 1,89            |
| 26    | 93,9                     | 94         | 0             | 8,17                     | 7,40                      | 17,48                       | 2,50            |
| 27    | 97,3                     | 97         | 0             | 8,38                     | 7,59                      | 30,63                       | 2,43            |

| Probe | Leitfähigkeit<br>[µS/cm] | TDS [mg/l] | Salinität [%] | pH-Wert H <sub>2</sub> O | pH-Wert CaCl <sub>2</sub> | Max.<br>Wasserkapazität [%] | Humusgehalt [%] |
|-------|--------------------------|------------|---------------|--------------------------|---------------------------|-----------------------------|-----------------|
| 28    | 82,8                     | 83         | 0             | 8,24                     | 7,38                      | 11,18                       | 1,63            |
| 29    | 100,8                    | 101        | 0             | 8,36                     | 7,57                      | 36,11                       | 1,91            |
| 30    | 91,2                     | 91         | 0             | 8,32                     | 7,56                      | 37,21                       | 2,58            |
| 31    | 87,6                     | 88         | 0             | 8,12                     | 7,40                      | 15,52                       | 1,54            |
| 32    | 75,4                     | 75         | 0             | 8,33                     | 7,55                      | 9,18                        | 1,79            |
| 33    | 77,7                     | 78         | 0             | 8,19                     | 7,45                      | 14,01                       | 1,67            |
| 34    | 101,6                    | 102        | 0             | 8,23                     | 7,54                      | 34,00                       | 2,22            |
| 35    | 93,8                     | 94         | 0             | 8,19                     | 7,51                      | 37,20                       | 2,05            |
| 36    | 144,4                    | 144        | 0             | 7,87                     | 7,52                      | 51,16                       | 6,05            |
| 37    | 144,6                    | 144        | 0             | 8,04                     | 7,56                      | 46,43                       | 4,75            |
| 38    | 177,2                    | 177        | 0             | 7,96                     | 7,51                      | 53,31                       | 6,69            |
| 39    | 232,0                    | 232        | 0             | 7,83                     | 7,47                      | 70,20                       | 11,38           |
| 40    | 229,0                    | 229        | 0             | 7,80                     | 7,45                      | 31,05                       | 13,66           |
| 41    | 123,8                    | 124        | 0             | 8,20                     | 7,54                      | 17,63                       | 3,67            |
| 42    | 144,0                    | 144        | 0             | 7,92                     | 7,43                      | 66,87                       | 5,01            |
| 43    | 193,5                    | 193        | 0             | 7,81                     | 7,37                      | 53,41                       | 9,48            |
| 44    | 239,0                    | 238        | 0             | 7,75                     | 7,28                      | 40,40                       | 13,06           |
| 45    | 268,0                    | 267        | 0             | 7,80                     | 7,27                      | 50,32                       | 17,21           |
| 46    | 223,0                    | 223        | 0             | 7,75                     | 7,32                      | 30,91                       | 15,90           |
| 47    | 160,9                    | 161        | 0             | 8,06                     | 7,46                      | 54,85                       | 6,13            |
| 48    | 136,4                    | 136        | 0             | 8,12                     | 7,44                      | 26,69                       | 4,27            |
| 49    | 164,3                    | 164        | 0             | 7,91                     | 7,41                      | 8,52                        | 7,14            |
| 50    | 177,3                    | 178        | 0             | 7,82                     | 7,40                      | 58,85                       | 6,92            |
| 51    | 208,0                    | 208        | 0             | 7,79                     | 7,33                      | 51,03                       | 5,20            |
| 52    | 172,6                    | 173        | 0             | 7,90                     | 7,33                      | 56,49                       | 4,95            |
| 53    | 141,1                    | 141        | 0             | 7,98                     | 7,41                      | 18,34                       | 3,42            |
| 54    | 156,1                    | 156        | 0             | 8,08                     | 7,46                      | 41,16                       | 4,86            |
| 55    | 110,2                    | 110        | 0             | 8,27                     | 7,49                      | 39,88                       | 2,76            |
| 56    | 107,1                    | 107        | 0             | 8,05                     | 7,42                      | 39,42                       | 2,47            |
| 57    | 153,0                    | 153        | 0             | 7,71                     | 7,21                      | 46,04                       | 3,99            |
| 58    | 85,2                     | 85         | 0             | 8,12                     | 7,33                      | 7,26                        | 2,13            |
| 59    | 69,9                     | 70         | 0             | 8,14                     | 7,28                      | 10,58                       | 1,20            |
| 60    | 78,6                     | 79         | 0             | 8,05                     | 7,18                      | 10,10                       | 1,43            |
| 61    | 72,3                     | 72         | 0             | 8,22                     | 7,27                      | 0,50                        | 0,97            |
| 62    | 79,2                     | 79         | 0             | 7,88                     | 7,03                      | 29,87                       | 0,97            |
| 63    | 76,2                     | 76         | 0             | 7,89                     | 7                         | 3,20                        | 1,34            |
| 64    | 77,7                     | 78         | 0             | 8,18                     | 7,1                       | 26,12                       | 0,70            |
| 65    | 57,2                     | 57         | 0             | 8,04                     | 7,16                      | 4,80                        | 0,85            |
| 66    | 57,3                     | 57         | 0             | 8,2                      | 7,26                      | 5,38                        | 0,68            |
| 67    | 29,3                     | 29         | 0             | 7,52                     | 6,57                      | 25,32                       | 0,58            |
| 68    | 55,7                     | 56         | 0             | 7,99                     | 7,04                      | 28,39                       | 0,66            |
| 69    | 77,3                     | 78         | 0             | 8,59                     | 7,58                      | 21,78                       | 0,93            |
| 70    | 23,6                     | 24         | 0             | 7,27                     | 6,36                      | 5,88                        | 0,72            |
| 71    | 26,6                     | 27         | 0             | 6,61                     | 5,76                      | 27,86                       | 1,46            |
| 72    | 29,5                     | 30         | 0             | 6,19                     | 5,56                      | 26,75                       | 0,84            |

| Probe | Leitfähigkeit<br>[μS/cm] | TDS [mg/l] | Salinität [%] | pH-Wert H <sub>2</sub> O | pH-Wert CaCl <sub>2</sub> | Max.<br>Wasserkapazität [%] | Humusgehalt [%] |
|-------|--------------------------|------------|---------------|--------------------------|---------------------------|-----------------------------|-----------------|
| 73    | 74,8                     | 75         | 0             | 8,09                     | 7,09                      | 28,34                       | 0,81            |
| 74    | 50,7                     | 51         | 0             | 8,1                      | 7,13                      | 12,95                       | 0,64            |
| 75    | 59,8                     | 60         | 0             | 8,18                     | 7,21                      | 26,72                       | 0,93            |
| 76    | 61,6                     | 62         | 0             | 8,04                     | 7,04                      | 28,14                       | 0,75            |
| 77    | 79,1                     | 79         | 0             | 8,44                     | 7,38                      | 28,83                       | 0,76            |
| 78    | 79,1                     | 79         | 0             | 8,21                     | 7,23                      | 9,89                        | 1,06            |
| 79    | 52,7                     | 52         | 0             | 7,89                     | 7,06                      | 1,20                        | 0,68            |
| 80    | 81,5                     | 82         | 0             | 8,27                     | 7,32                      | 28,36                       | 0,68            |
| 81    | 115,4                    | 115        | 0             | 8,07                     | 7,19                      | 9,32                        | 1,23            |
| 82    | 29,5                     | 30         | 0             | 6,16                     | 5,78                      | 4,99                        | 0,67            |
| 83    | 51,2                     | 51         | 0             | 7,33                     | 6,75                      | 27,73                       | 0,87            |
| 84    | 69,2                     | 69         | 0             | 7,32                     | 6,52                      | 3,60                        | 1,56            |
| 85    | 68,5                     | 69         | 0             | 6,9                      | 6,21                      | 12,55                       | 2,86            |
| 86    | 64,9                     | 65         | 0             | 6,32                     | 5,45                      | 1,59                        | 2,58            |
| 87    | 41,4                     | 41         | 0             | 6,46                     | 5,41                      | 2,78                        | 1,74            |
| 88    | 32,6                     | 33         | 0             | 6,28                     | 5,67                      | 7,56                        | 1,27            |
| 89    | 31,8                     | 32         | 0             | 6,86                     | 6,28                      | 25,57                       | 0,91            |
| 90    | 67,5                     | 68         | 0             | 7,97                     | 7,06                      | 11,00                       | 1,39            |
| 91    | 90,3                     | 90         | 0             | 7,29                     | 6,54                      | 3,30                        | 2,12            |
| 92    | 49,5                     | 50         | 0             | 7,02                     | 6,39                      | 6,99                        | 2,37            |
| 93    | 77,5                     | 78         | 0             | 6,12                     | 5,67                      | 8,57                        | 3,62            |
| 94    | 42,9                     | 43         | 0             | 5,68                     | 4,84                      | 4,60                        | 2,78            |
| 95    | 80,3                     | 80         | 0             | 6,83                     | 6,13                      | 8,80                        | 1,68            |
| 96    | 50,5                     | 51         | 0             | 6,72                     | 6,06                      | 1,29                        | 1,22            |
| 97    | 43                       | 43         | 0             | 5,85                     | 5,09                      | 1,99                        | 2,00            |
| 98    | 46,7                     | 47         | 0             | 6,25                     | 5,68                      | 3,18                        | 1,33            |
| 99    | 33                       | 33         | 0             | 6,04                     | 5,01                      | 1,90                        | 1,12            |
| 100   | 24,3                     | 24         | 0             | 6,43                     | 5,56                      | 4,78                        | 0,89            |
| 101   | 31,3                     | 31         | 0             | 6,71                     | 6,17                      | 7,58                        | 0,69            |
| 102   | 37,6                     | 38         | 0             | 7,46                     | 6,51                      | 1,40                        | 0,73            |
| 103   | 15,4                     | 15         | 0             | 6,78                     | 6,15                      | 8,40                        | 0,55            |
| 104   | 21,4                     | 22         | 0             | 6,86                     | 5,98                      | 0,40                        | 0,59            |
| 105   | 19,6                     | 20         | 0             | 6,59                     | 5,96                      | 24,40                       | 0,85            |
| 106   | 34,6                     | 35         | 0             | 6,31                     | 5,54                      | 1,70                        | 2,16            |
| 107   | 17,1                     | 17         | 0             | 6,31                     | 5,48                      | 4,80                        | 0,98            |
| 108   | 28,7                     | 29         | 0             | 6,7                      | 6,02                      | 0,10                        | 0,89            |
| 109   | 17,8                     | 18         | 0             | 6,13                     | 5,28                      | 1,20                        | 0,57            |
| 110   | 36,2                     | 36         | 0             | 7,03                     | 6,57                      | 6,10                        | 0,83            |
| 111   | 19,4                     | 19         | 0             | 6,55                     | 5,83                      | 10,18                       | 0,73            |
| 112   | 43,5                     | 44         | 0             | 7,4                      | 6,88                      | 2,99                        | 0,65            |
| 113   | 47,7                     | 48         | 0             | 8,36                     | 7,03                      | 10,01                       | 0,62            |
| 114   | 42,2                     | 42         | 0             | 6,71                     | 5,99                      | 0,00                        | 0,68            |
| 115   | 14,8                     | 15         | 0             | 6,57                     | 6,11                      | 9,22                        | 0,53            |
| 116   | 14,8                     | 15         | 0             | 6,75                     | 5,71                      | 1,00                        | 0,58            |
| 117   | 22,3                     | 22         | 0             | 6,88                     | 6,42                      | 5,87                        | 0,57            |

| Probe | Leitfähigkeit<br>[μS/cm] | TDS [mg/l] | Salinität [%] | pH-Wert H <sub>2</sub> O | pH-Wert CaCl <sub>2</sub> | Max.<br>Wasserkapazität [%] | Humusgehalt [%] |
|-------|--------------------------|------------|---------------|--------------------------|---------------------------|-----------------------------|-----------------|
| 118   | 80,2                     | 80         | 0             | 7,47                     | 6,5                       | 0,99                        | 0,77            |
| 119   | 18,8                     | 19         | 0             | 6,93                     | 5,87                      | 25,27                       | 0,42            |
| 120   | 21,7                     | 22         | 0             | 7,14                     | 6,36                      | 23,65                       | 0,58            |
| 121   | 18,7                     | 19         | 0             | 7,25                     | 6,38                      | 25,43                       | 0,55            |
| 122   | 29,3                     | 30         | 0             | 6,91                     | 5,96                      | 0,00                        | 0,52            |

**Tab. 13: Bodenparameter des Gesamttransektes Teil 2**

| Probe | Kohlenstoffgehalt [%] | Wassergehalt [%] | Trockensubstanz [%] | NH <sub>4</sub> [µg/g(TS)] | Nitrat [µg NO <sub>3</sub> /g TS] | Phosphor [mg] P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> / 100g TS] | Kalkgehalt [%] |
|-------|-----------------------|------------------|---------------------|----------------------------|-----------------------------------|--|----------------|
| 1     | 5,86                  | 7,10             | 92,90               | 5,128                      | 6,814                             | 4,863  | 0,5            |
| 2     | 5,84                  | 5,79             | 94,21               | 3,020                      | 7,653                             | 5,302  | 2              |
| 3     | 6,40                  | 3,78             | 96,22               | 3,627                      | 6,880                             | 3,169  | 0,5            |
| 4     | 9,16                  | 4,40             | 95,60               | 3,253                      | 7,165                             | 2,919  | 0,5            |
| 5     | 5,63                  | 7,11             | 92,89               | 5,639                      | 8,602                             | 4,801  | 0,5            |
| 6     | 6,04                  | 2,40             | 97,60               | 0,983                      | 5,943                             | 1,978  | 2              |
| 7     | 1,41                  | 2,59             | 97,41               | 0,988                      | 6,396                             | 2,668  | 5              |
| 8     | 4,71                  | 4,37             | 95,63               | 2,616                      | 6,515                             | 6,494  | 5              |
| 9     | 4,40                  | 1,50             | 98,50               | 1,025                      | 5,909                             | 2,856  | 4              |
| 10    | 4,69                  | 3,60             | 96,40               | 1,389                      | 6,027                             | 9,130  | 5              |
| 11    | 3,86                  | 1,80             | 98,20               | 1,043                      | 5,601                             | 1,978  | 5              |
| 12    | 0,81                  | 2,90             | 97,10               | 1,342                      | 6,138                             | 2,919  | 5              |
| 13    | 3,11                  | 3,10             | 96,90               | 0,855                      | 5,655                             | 4,111  | 5              |
| 14    | 1,58                  | 2,20             | 97,80               | 0,403                      | 5,368                             | 2,103  | 5              |
| 15    | 0,86                  | 1,50             | 98,50               | 0,706                      | 5,513                             | 1,978  | 5              |
| 16    | 1,82                  | 2,40             | 97,60               | 1,076                      | 5,943                             | 5,114  | 5              |
| 17    | 1,87                  | 2,49             | 97,51               | 0,490                      | 5,589                             | 2,103  | 5              |
| 18    | 1,18                  | 1,79             | 98,21               | 0,531                      | 5,509                             | 2,668  | 5              |
| 19    | 1,56                  | 2,99             | 97,01               | 0,851                      | 5,721                             | 2,856  | 5              |
| 20    | 0,79                  | 1,30             | 98,70               | 0,378                      | 5,431                             | 3,295  | 5              |
| 21    | 0,98                  | 0,80             | 99,20               | 0,365                      | 5,474                             | 5,679  | 4              |
| 22    | 1,47                  | 1,39             | 98,61               | 1,028                      | 5,638                             | 3,859  | 4              |
| 23    | 1,51                  | 4,19             | 95,81               | 1,118                      | 5,730                             | 5,616  | 5              |
| 24    | 2,49                  | 2,39             | 97,61               | 0,363                      | 5,563                             | 3,483  | 4              |
| 25    | 1,10                  | 2,99             | 97,01               | 0,429                      | 5,742                             | 3,358  | 5              |
| 26    | 1,45                  | 0,80             | 99,20               | 0,547                      | 5,645                             | 4,299  | 2              |
| 27    | 1,41                  | 1,10             | 98,90               | 0,271                      | 5,470                             | 8,377  | 5              |
| 28    | 0,94                  | 0,60             | 99,40               | 0,346                      | 5,584                             | 2,229  | 0,5            |
| 29    | 1,11                  | 1,69             | 98,31               | 0,471                      | 5,584                             | 5,177  | 5              |
| 30    | 1,50                  | 1,70             | 98,30               | 0,486                      | 5,819                             | 5,679  | 4              |
| 31    | 0,89                  | 0,60             | 99,40               | 0,259                      | 5,473                             | 5,177  | 2              |
| 32    | 1,04                  | 1,00             | 99,00               | 0,322                      | 5,455                             | 3,546  | 2              |
| 33    | 0,97                  | 1,40             | 98,60               | 0,202                      | 5,598                             | 3,797  | 4              |
| 34    | 1,29                  | 1,50             | 98,50               | 0,349                      | 5,695                             | 8,188  | 5              |
| 35    | 1,19                  | 2,60             | 97,40               | 0,487                      | 5,893                             | 6,557  | 5              |
| 36    | 3,51                  | 3,40             | 96,60               | 1,090                      | 6,387                             | 7,435  | 5              |
| 37    | 2,76                  | 3,90             | 96,10               | 0,426                      | 5,838                             | 11,890   | 5              |
| 38    | 3,88                  | 6,09             | 93,91               | 0,933                      | 6,719                             | 7,561  | 5              |
| 39    | 6,60                  | 7,29             | 92,71               | 0,902                      | 6,741                             | 4,048  | 5              |
| 40    | 7,92                  | 6,97             | 93,03               | 2,086                      | 6,987                             | 0  | 5              |
| 41    | 2,13                  | 3,29             | 96,71               | 0,719                      | 5,863                             | 6,745  | 5              |
| 42    | 2,91                  | 1,80             | 98,20               | 0,660                      | 5,611                             | 4,801  | 5              |
| 43    | 5,50                  | 4,30             | 95,70               | 0,980                      | 5,977                             | 8,816  | 5              |
| 44    | 7,58                  | 8,77             | 91,23               | 1,964                      | 6,752                             | 3,546  | 4              |
| 45    | 9,98                  | 9,70             | 90,30               | 0,589                      | 6,412                             | 5,177  | 4              |

| Probe | Kohlenstoffgehalt [%] | Wassergehalt [%] | Trockensubstanz [%] | NH <sub>4</sub> [µg/g(TS)] | Nitrat [µg NO <sub>3</sub> /g TS] | Phosphor [mg] P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> / 100g TS] | Kalkgehalt [%] |
|-------|-----------------------|------------------|---------------------|----------------------------|-----------------------------------|--|----------------|
| 46    | 9,22                  | 11,27            | 88,73               | 0,726                      | 6,244                             | 3,421  | 4              |
| 47    | 3,56                  | 6,55             | 93,45               | 0,480                      | 6,142                             | 2,229  | 5              |
| 48    | 2,48                  | 2,80             | 97,20               | 1,460                      | 5,730                             | 2,730  | 5              |
| 49    | 4,14                  | 4,08             | 95,92               | 1,415                      | 5,932                             | 4,801  | 5              |
| 50    | 4,01                  | 3,40             | 96,60               | 1,728                      | 5,704                             | 3,232  | 5              |
| 51    | 3,02                  | 5,49             | 94,51               | 3,417                      | 6,486                             | 4,299  | 5              |
| 52    | 2,87                  | 4,10             | 95,90               | 0,593                      | 5,829                             | 2,982  | 5              |
| 53    | 1,98                  | 2,10             | 97,90               | 1,498                      | 5,884                             | 6,181  | 5              |
| 54    | 2,82                  | 6,04             | 93,96               | 1,291                      | 6,098                             | 5,177  | 5              |
| 55    | 1,60                  | 2,99             | 97,01               | 0,590                      | 5,804                             | 7,247  | 5              |
| 56    | 1,43                  | 5,50             | 94,50               | 0,471                      | 5,884                             | 8,000  | 5              |
| 57    | 2,32                  | 2,20             | 97,80               | 1,369                      | 5,746                             | 3,922  | 5              |
| 58    | 1,24                  | 1,30             | 98,70               | 0,770                      | 5,572                             | 1,789  | 4              |
| 59    | 0,70                  | 1,10             | 98,90               | 0,926                      | 5,693                             | 0,786  | 0,5            |
| 60    | 0,83                  | 0,40             | 99,60               | 0,658                      | 5,432                             | 0,786  | 0,5            |
| 61    | 0,56                  | 0,70             | 99,30               | 0,623                      | 5,478                             | 1,162  | 0,5            |
| 62    | 0,56                  | 4,00             | 96,00               | 0,132                      | 6,218                             | 3,483  | 2              |
| 63    | 0,78                  | 3,09             | 96,91               | 0,000                      | 5,490                             | 3,735  | 2              |
| 64    | 0,41                  | 2,87             | 97,13               | 0,000                      | 6,363                             | 3,546  | 2              |
| 65    | 0,50                  | 3,29             | 96,71               | 0,000                      | 6,318                             | 3,295  | 2              |
| 66    | 0,39                  | 3,27             | 96,73               | 0,000                      | 5,707                             | 3,106  | 2              |
| 67    | 0,34                  | 4,37             | 95,63               | 0,004                      | 6,169                             | 2,919  | 2              |
| 68    | 0,38                  | 3,66             | 96,34               | 0,045                      | 7,038                             | 3,358  | 2              |
| 69    | 0,54                  | 2,66             | 97,34               | 0,000                      | 6,934                             | 3,483  | 4              |
| 70    | 0,42                  | 3,39             | 96,61               | 0,000                      | 6,863                             | 3,169  | 2              |
| 71    | 0,85                  | 3,87             | 96,13               | 0,000                      | 5,430                             | 3,232  | 2              |
| 72    | 0,49                  | 3,86             | 96,14               | 0,083                      | 6,324                             | 3,859  | 0,5            |
| 73    | 0,47                  | 4,43             | 95,57               | 0,151                      | 6,090                             | 3,232  | 2              |
| 74    | 0,37                  | 4,60             | 95,40               | 0,278                      | 5,880                             | 3,232  | 0,5            |
| 75    | 0,54                  | 4,68             | 95,32               | 0,004                      | 6,672                             | 3,358  | 0,5            |
| 76    | 0,44                  | 4,36             | 95,64               | 0,000                      | 7,465                             | 3,859  | 0,5            |
| 77    | 0,44                  | 4,98             | 95,02               | 0,000                      | 7,514                             | 3,859  | 0,5            |
| 78    | 0,62                  | 4,06             | 95,94               | 0,132                      | 6,587                             | 3,358  | 4              |
| 79    | 0,40                  | 3,90             | 96,10               | 0,004                      | 6,722                             | 3,232  | 4              |
| 80    | 0,40                  | 4,00             | 96,00               | 0,000                      | 6,740                             | 3,358  | 0,5            |
| 81    | 0,72                  | 4,08             | 95,92               | 0,038                      | 6,286                             | 3,672  | 0,5            |
| 82    | 0,39                  | 3,39             | 96,61               | 0,205                      | 5,993                             | 3,483  | 0,5            |
| 83    | 0,50                  | 3,75             | 96,25               | 0,041                      | 6,151                             | 3,232  | 2              |
| 84    | 0,90                  | 4,74             | 95,26               | 0,389                      | 8,073                             | 3,546  | 2              |
| 85    | 1,66                  | 3,50             | 96,50               | 0,041                      | 5,772                             | 3,421  | 2              |
| 86    | 1,49                  | 4,69             | 95,31               | 0,008                      | 5,571                             | 4,048  | 2              |
| 87    | 1,01                  | 3,89             | 96,11               | 0,026                      | 6,981                             | 3,672  | 2              |
| 88    | 0,74                  | 4,76             | 95,24               | 0,099                      | 5,796                             | 3,985  | 2              |
| 89    | 0,53                  | 4,27             | 95,73               | 0,000                      | 5,944                             | 3,044  | 2              |
| 90    | 0,81                  | 4,17             | 95,83               | 0,004                      | 5,791                             | 3,295  | 2              |
| 91    | 1,23                  | 3,17             | 96,83               | 0,299                      | 7,829                             | 4,362  | 2              |

| Probe | Kohlenstoffgehalt [%] | Wassergehalt [%] | Trockensubstanz [%] | NH <sub>4</sub> [µg/g(TS)] | Nitrat [µg NO <sub>3</sub> /g TS] | Phosphor [mg] P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> / 100g TS] | Kalkgehalt [%] |
|-------|-----------------------|------------------|---------------------|----------------------------|-----------------------------------|--|----------------|
| 92    | 1,37                  | 4,30             | 95,70               | 0,011                      | 6,176                             | 3,295  | 2              |
| 93    | 2,10                  | 6,46             | 93,54               | 0,327                      | 6,414                             | 3,985  | 2              |
| 94    | 1,62                  | 2,68             | 97,32               | 0,067                      | 5,980                             | 4,173  | 2              |
| 95    | 0,97                  | 3,27             | 96,73               | 0,250                      | 6,451                             | 3,295  | 2              |
| 96    | 0,71                  | 2,78             | 97,22               | 0,000                      | 5,853                             | 3,421  | 2              |
| 97    | 1,16                  | 4,08             | 95,92               | 0,011                      | 6,036                             | 3,483  | 0,5            |
| 98    | 0,77                  | 1,78             | 98,22               | 0,022                      | 5,559                             | 4,675  | 0,5            |
| 99    | 0,65                  | 2,76             | 97,24               | 0,157                      | 7,569                             | 3,232  | 0,5            |
| 100   | 0,51                  | 3,57             | 96,43               | 0,132                      | 6,347                             | 3,546  | 0,5            |
| 101   | 0,40                  | 2,90             | 97,10               | 0,231                      | 5,551                             | 2,919  | 0,5            |
| 102   | 0,42                  | 4,40             | 95,60               | 0,000                      | 6,224                             | 2,982  | 0,5            |
| 103   | 0,32                  | 4,17             | 95,83               | 0,000                      | 6,689                             | 3,044  | 0,5            |
| 104   | 0,34                  | 3,28             | 96,72               | 0,000                      | 5,780                             | 4,048  | 0,5            |
| 105   | 0,49                  | 3,47             | 96,53               | 0,037                      | 5,894                             | 3,044  | 0,5            |
| 106   | 1,25                  | 3,59             | 96,41               | 0,019                      | 6,514                             | 3,421  | 0,5            |
| 107   | 0,57                  | 4,98             | 95,02               | 0,049                      | 6,146                             | 3,295  | 0,5            |
| 108   | 0,51                  | 2,79             | 97,21               | 0,015                      | 5,750                             | 4,048  | 0,5            |
| 109   | 0,33                  | 4,88             | 95,12               | 0,284                      | 5,971                             | 3,295  | 0,5            |
| 110   | 0,48                  | 4,40             | 95,60               | 0,000                      | 5,701                             | 3,985  | 0,5            |
| 111   | 0,42                  | 3,88             | 96,12               | 0,000                      | 6,367                             | 3,609  | 0,5            |
| 112   | 0,38                  | 3,77             | 96,23               | 0,155                      | 5,778                             | 3,169  | 0,5            |
| 113   | 0,36                  | 4,68             | 95,32               | 0,103                      | 5,938                             | 3,106  | 0,5            |
| 114   | 0,39                  | 11,17            | 88,83               | 0,000                      | 6,146                             | 3,358  | 0,5            |
| 115   | 0,30                  | 4,77             | 95,23               | 0,000                      | 5,639                             | 3,169  | 0,5            |
| 116   | 0,34                  | 5,10             | 94,90               | 0,000                      | 5,859                             | 3,044  | 0,5            |
| 117   | 0,33                  | 4,55             | 95,45               | 0,000                      | 5,595                             | 2,982  | 0,5            |
| 118   | 0,45                  | 4,27             | 95,73               | 0,000                      | 5,672                             | 4,424  | 0,5            |
| 119   | 0,24                  | 4,67             | 95,33               | 0,000                      | 5,759                             | 3,169  | 0,5            |
| 120   | 0,33                  | 4,29             | 95,71               | 0,000                      | 5,517                             | 3,483  | 0,5            |
| 121   | 0,32                  | 4,37             | 95,63               | 0,200                      | 6,431                             | 3,546  | 0,5            |
| 122   | 0,30                  | 4,46             | 95,54               | 0,222                      | 5,757                             | 3,859  | 0,5            |



Tab. 14: Individuenanzahl der einzelnen Vertreter

| Probennummer | <i>Dicyrtoma fusca</i> | <i>Entomobrya juv.</i> | <i>Entomobrya multifasciata</i> | <i>Entomobrya nivalis</i> | <i>Folsomia fimetaria</i> | <i>Isotomidae juv.</i> | <i>Isotoma viridis</i> Gruppe | <i>Lepidocyrtus lanuginosus</i> | <i>Mesaphorura macrochaeta</i> | <i>Oncopodura spec.</i> | <i>Parisotoma notabilis</i> | <i>Poduridae juv.</i> | <i>Proisotoma minuta</i> | <i>Protaphorura juv.</i> | <i>Pseudachorutes spec.</i> | <i>Sminthurinus aureus</i> | <i>Sminthurus viridis</i> | <i>Sphaeridia pumilis</i> | <i>Xenylla</i> | gesamt |
|--------------|------------------------|------------------------|---------------------------------|---------------------------|---------------------------|------------------------|-------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|-------------------------|-----------------------------|-----------------------|--------------------------|--------------------------|-----------------------------|----------------------------|---------------------------|---------------------------|----------------|--------|
| 1a           | 0                      | 1                      | 5                               | 0                         | 0                         | 0                      | 0                             | 0                               | 0                              | 0                       | 0                           | 0                     | 0                        | 0                        | 0                           | 0                          | 0                         | 0                         | 0              | 6      |
| 2a           | 0                      | 1                      | 6                               | 1                         | 0                         | 0                      | 6                             | 4                               | 1                              | 1                       | 6                           | 0                     | 0                        | 0                        | 0                           | 0                          | 0                         | 0                         | 0              | 26     |
| 3a           | 0                      | 0                      | 2                               | 0                         | 0                         | 0                      | 1                             | 0                               | 0                              | 0                       | 0                           | 0                     | 0                        | 0                        | 0                           | 0                          | 0                         | 0                         | 0              | 3      |
| 4a           | 0                      | 2                      | 0                               | 0                         | 1                         | 0                      | 0                             | 1                               | 0                              | 0                       | 16                          | 0                     | 0                        | 0                        | 0                           | 0                          | 0                         | 0                         | 0              | 20     |
| 5a           | 0                      | 0                      | 0                               | 0                         | 0                         | 0                      | 0                             | 0                               | 3                              | 0                       | 2                           | 0                     | 0                        | 0                        | 0                           | 0                          | 0                         | 0                         | 0              | 5      |
| 6a           | 0                      | 1                      | 2                               | 0                         | 0                         | 0                      | 0                             | 1                               | 0                              | 0                       | 0                           | 0                     | 0                        | 0                        | 0                           | 0                          | 0                         | 0                         | 0              | 4      |
| 7a           | 0                      | 0                      | 1                               | 1                         | 0                         | 0                      | 2                             | 0                               | 0                              | 0                       | 0                           | 0                     | 0                        | 0                        | 0                           | 0                          | 0                         | 0                         | 0              | 4      |
| 8a           | 0                      | 15                     | 8                               | 0                         | 0                         | 0                      | 6                             | 5                               | 6                              | 0                       | 1                           | 0                     | 0                        | 0                        | 0                           | 0                          | 0                         | 0                         | 0              | 41     |
| 9a           | 0                      | 18                     | 5                               | 1                         | 0                         | 2                      | 4                             | 0                               | 8                              | 0                       | 0                           | 0                     | 0                        | 0                        | 0                           | 0                          | 0                         | 0                         | 0              | 38     |
| 10a          | 0                      | 4                      | 2                               | 0                         | 0                         | 0                      | 1                             | 0                               | 0                              | 0                       | 0                           | 0                     | 0                        | 0                        | 0                           | 0                          | 0                         | 0                         | 0              | 7      |
| 11a          | 0                      | 1                      | 3                               | 1                         | 0                         | 0                      | 0                             | 2                               | 2                              | 0                       | 0                           | 0                     | 0                        | 0                        | 0                           | 0                          | 0                         | 0                         | 0              | 9      |
| 12a          | 0                      | 1                      | 0                               | 0                         | 0                         | 0                      | 0                             | 0                               | 1                              | 0                       | 0                           | 0                     | 0                        | 0                        | 0                           | 0                          | 0                         | 0                         | 0              | 2      |
| 13a          | 0                      | 4                      | 0                               | 1                         | 0                         | 0                      | 8                             | 1                               | 0                              | 0                       | 1                           | 0                     | 0                        | 0                        | 0                           | 0                          | 0                         | 0                         | 0              | 15     |
| 14a          | 0                      | 0                      | 0                               | 0                         | 0                         | 0                      | 1                             | 0                               | 0                              | 0                       | 0                           | 0                     | 0                        | 0                        | 0                           | 0                          | 0                         | 0                         | 0              | 1      |
| 15a          | 0                      | 4                      | 0                               | 3                         | 0                         | 0                      | 0                             | 0                               | 1                              | 0                       | 0                           | 0                     | 0                        | 0                        | 0                           | 0                          | 0                         | 0                         | 0              | 8      |
| 16a          | 0                      | 11                     | 2                               | 1                         | 0                         | 0                      | 0                             | 0                               | 0                              | 0                       | 0                           | 0                     | 0                        | 0                        | 0                           | 0                          | 0                         | 0                         | 0              | 14     |
| 17a          | 0                      | 8                      | 1                               | 3                         | 0                         | 0                      | 2                             | 0                               | 0                              | 0                       | 0                           | 0                     | 0                        | 0                        | 0                           | 0                          | 0                         | 0                         | 0              | 14     |
| 18a          | 0                      | 0                      | 0                               | 0                         | 0                         | 0                      | 0                             | 0                               | 0                              | 0                       | 0                           | 0                     | 0                        | 0                        | 0                           | 0                          | 0                         | 0                         | 0              | 0      |
| 19a          | 0                      | 1                      | 0                               | 0                         | 0                         | 0                      | 0                             | 0                               | 0                              | 0                       | 0                           | 0                     | 0                        | 0                        | 0                           | 0                          | 0                         | 0                         | 0              | 1      |
| 20a          | 0                      | 1                      | 0                               | 2                         | 0                         | 0                      | 0                             | 0                               | 0                              | 0                       | 0                           | 0                     | 0                        | 0                        | 0                           | 0                          | 0                         | 0                         | 0              | 3      |
| 21a          | 0                      | 2                      | 0                               | 2                         | 0                         | 0                      | 1                             | 0                               | 1                              | 0                       | 0                           | 0                     | 0                        | 0                        | 0                           | 0                          | 0                         | 0                         | 0              | 6      |
| 22a          | 0                      | 8                      | 3                               | 1                         | 0                         | 0                      | 1                             | 12                              | 2                              | 0                       | 7                           | 0                     | 0                        | 0                        | 0                           | 4                          | 0                         | 0                         | 0              | 38     |
| 23a          | 0                      | 0                      | 0                               | 0                         | 0                         | 0                      | 1                             | 2                               | 3                              | 0                       | 4                           | 1                     | 0                        | 0                        | 0                           | 1                          | 0                         | 0                         | 0              | 12     |
| 24a          | 0                      | 1                      | 0                               | 2                         | 0                         | 0                      | 0                             | 2                               | 4                              | 0                       | 1                           | 0                     | 0                        | 0                        | 0                           | 2                          | 0                         | 0                         | 0              | 12     |
| 25a          | 0                      | 1                      | 0                               | 3                         | 0                         | 0                      | 0                             | 0                               | 23                             | 0                       | 0                           | 0                     | 0                        | 0                        | 0                           | 0                          | 1                         | 0                         | 0              | 28     |
| 26a          | 0                      | 3                      | 0                               | 3                         | 0                         | 0                      | 0                             | 2                               | 8                              | 0                       | 0                           | 1                     | 0                        | 1                        | 0                           | 0                          | 0                         | 0                         | 0              | 18     |
| 27a          | 0                      | 0                      | 0                               | 0                         | 0                         | 0                      | 0                             | 0                               | 2                              | 0                       | 0                           | 0                     | 0                        | 0                        | 0                           | 0                          | 0                         | 0                         | 0              | 2      |
| 28a          | 0                      | 1                      | 0                               | 0                         | 0                         | 0                      | 0                             | 0                               | 1                              | 0                       | 0                           | 0                     | 0                        | 0                        | 0                           | 0                          | 1                         | 0                         | 0              | 3      |
| 29a          | 0                      | 0                      | 0                               | 1                         | 0                         | 0                      | 0                             | 0                               | 2                              | 0                       | 0                           | 0                     | 1                        | 0                        | 0                           | 0                          | 0                         | 0                         | 0              | 4      |
| 30a          | 0                      | 2                      | 0                               | 0                         | 1                         | 0                      | 0                             | 0                               | 30                             | 0                       | 0                           | 0                     | 1                        | 0                        | 0                           | 0                          | 0                         | 0                         | 0              | 34     |
| 31a          | 0                      | 0                      | 0                               | 0                         | 0                         | 0                      | 0                             | 0                               | 48                             | 0                       | 0                           | 0                     | 0                        | 0                        | 0                           | 0                          | 0                         | 0                         | 0              | 48     |
| 32a          | 0                      | 1                      | 0                               | 0                         | 0                         | 0                      | 0                             | 0                               | 0                              | 0                       | 1                           | 0                     | 0                        | 0                        | 0                           | 0                          | 0                         | 0                         | 0              | 2      |
| 33a          | 0                      | 0                      | 0                               | 0                         | 0                         | 0                      | 0                             | 0                               | 2                              | 0                       | 0                           | 0                     | 2                        | 0                        | 0                           | 0                          | 0                         | 0                         | 0              | 4      |
| 34a          | 0                      | 1                      | 0                               | 0                         | 0                         | 0                      | 0                             | 0                               | 2                              | 0                       | 0                           | 0                     | 0                        | 0                        | 0                           | 0                          | 0                         | 0                         | 0              | 3      |
| 35a          | 0                      | 0                      | 0                               | 0                         | 0                         | 0                      | 0                             | 0                               | 10                             | 0                       | 0                           | 0                     | 0                        | 0                        | 0                           | 0                          | 0                         | 0                         | 0              | 10     |

| Probennummer | <i>Dicyrtoma fusca</i> | <i>Entomobrya juv.</i> | <i>Entomobrya multifasciata</i> | <i>Entomobrya nivalis</i> | <i>Folsomia fimetaria</i> | <i>Isotomidae juv.</i> | <i>Isotoma viridis</i> Gruppe | <i>Lepidocyrtus lanuginosus</i> | <i>Mesaphorura macrochaeta</i> | <i>Oncopodura spec.</i> | <i>Parisotoma notabilis</i> | <i>Poduridae juv.</i> | <i>Proisotoma minuta</i> | <i>Protaphorura juv.</i> | <i>Pseudachorutes spec.</i> | <i>Sminthurinus aureus</i> | <i>Sminthurus viridis</i> | <i>Sphaeridia pumilis</i> | <i>Xenylla</i> | gesamt |
|--------------|------------------------|------------------------|---------------------------------|---------------------------|---------------------------|------------------------|-------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|-------------------------|-----------------------------|-----------------------|--------------------------|--------------------------|-----------------------------|----------------------------|---------------------------|---------------------------|----------------|--------|
| 36a          | 0                      | 4                      | 0                               | 5                         | 0                         | 0                      | 0                             | 0                               | 2                              | 0                       | 0                           | 0                     | 0                        | 0                        | 0                           | 0                          | 0                         | 0                         | 0              | 11     |
| 37a          | 0                      | 10                     | 0                               | 4                         | 0                         | 0                      | 0                             | 0                               | 0                              | 0                       | 0                           | 0                     | 0                        | 0                        | 0                           | 0                          | 0                         | 0                         | 0              | 14     |
| 38a          | 0                      | 18                     | 0                               | 4                         | 0                         | 0                      | 0                             | 4                               | 7                              | 0                       | 4                           | 0                     | 0                        | 0                        | 0                           | 0                          | 0                         | 0                         | 0              | 37     |
| 39a          | 0                      | 23                     | 0                               | 5                         | 0                         | 0                      | 1                             | 8                               | 0                              | 0                       | 32                          | 0                     | 0                        | 2                        | 0                           | 0                          | 0                         | 0                         | 0              | 71     |
| 40a          | 0                      | 27                     | 0                               | 8                         | 0                         | 0                      | 0                             | 1                               | 4                              | 1                       | 73                          | 1                     | 0                        | 0                        | 0                           | 3                          | 0                         | 0                         | 0              | 118    |
| 41a          | 0                      | 0                      | 0                               | 1                         | 0                         | 0                      | 0                             | 0                               | 0                              | 0                       | 0                           | 0                     | 0                        | 0                        | 0                           | 0                          | 0                         | 0                         | 0              | 1      |
| 42a          | 0                      | 6                      | 0                               | 0                         | 0                         | 0                      | 0                             | 0                               | 6                              | 0                       | 0                           | 0                     | 0                        | 0                        | 0                           | 0                          | 0                         | 0                         | 0              | 12     |
| 43a          | 0                      | 8                      | 0                               | 0                         | 0                         | 0                      | 1                             | 2                               | 3                              | 0                       | 4                           | 0                     | 0                        | 2                        | 0                           | 0                          | 0                         | 0                         | 0              | 20     |
| 44a          | 0                      | 9                      | 0                               | 1                         | 1                         | 0                      | 0                             | 1                               | 2                              | 0                       | 5                           | 0                     | 0                        | 0                        | 0                           | 0                          | 0                         | 0                         | 0              | 19     |
| 45a          | 0                      | 14                     | 0                               | 5                         | 0                         | 0                      | 4                             | 0                               | 16                             | 0                       | 3                           | 0                     | 0                        | 0                        | 0                           | 0                          | 0                         | 0                         | 0              | 42     |
| 46a          | 0                      | 3                      | 0                               | 1                         | 0                         | 0                      | 6                             | 0                               | 2                              | 0                       | 1                           | 0                     | 0                        | 0                        | 0                           | 0                          | 0                         | 0                         | 0              | 13     |
| 47a          | 0                      | 1                      | 0                               | 4                         | 0                         | 0                      | 0                             | 0                               | 0                              | 0                       | 0                           | 0                     | 0                        | 0                        | 0                           | 0                          | 0                         | 0                         | 0              | 5      |
| 48a          | 0                      | 2                      | 0                               | 3                         | 0                         | 0                      | 0                             | 0                               | 0                              | 0                       | 0                           | 0                     | 0                        | 0                        | 0                           | 0                          | 0                         | 0                         | 0              | 5      |
| 49a          | 0                      | 8                      | 0                               | 2                         | 0                         | 0                      | 0                             | 0                               | 1                              | 0                       | 24                          | 0                     | 0                        | 0                        | 0                           | 0                          | 0                         | 0                         | 0              | 35     |
| 50a          | 0                      | 7                      | 1                               | 3                         | 0                         | 0                      | 0                             | 0                               | 2                              | 0                       | 15                          | 3                     | 0                        | 0                        | 0                           | 0                          | 0                         | 0                         | 0              | 31     |
| 51a          | 0                      | 4                      | 4                               | 3                         | 0                         | 0                      | 0                             | 2                               | 1                              | 0                       | 5                           | 1                     | 0                        | 0                        | 0                           | 0                          | 0                         | 0                         | 0              | 20     |
| 52a          | 0                      | 18                     | 1                               | 11                        | 0                         | 0                      | 4                             | 2                               | 1                              | 0                       | 8                           | 0                     | 0                        | 0                        | 0                           | 0                          | 0                         | 0                         | 0              | 45     |
| 53a          | 0                      | 14                     | 1                               | 6                         | 0                         | 0                      | 0                             | 0                               | 4                              | 0                       | 6                           | 0                     | 0                        | 0                        | 0                           | 0                          | 0                         | 0                         | 0              | 31     |
| 54a          | 0                      | 4                      | 0                               | 6                         | 0                         | 0                      | 0                             | 3                               | 0                              | 0                       | 3                           | 0                     | 0                        | 0                        | 0                           | 0                          | 0                         | 0                         | 0              | 16     |
| 55a          | 0                      | 2                      | 0                               | 1                         | 0                         | 0                      | 0                             | 1                               | 0                              | 0                       | 1                           | 0                     | 0                        | 0                        | 0                           | 0                          | 0                         | 0                         | 0              | 5      |
| 56a          | 0                      | 20                     | 0                               | 5                         | 0                         | 0                      | 0                             | 0                               | 10                             | 0                       | 1                           | 0                     | 0                        | 0                        | 0                           | 0                          | 0                         | 0                         | 0              | 36     |
| 57a          | 0                      | 55                     | 0                               | 11                        | 0                         | 0                      | 0                             | 0                               | 6                              | 0                       | 0                           | 0                     | 0                        | 0                        | 0                           | 0                          | 0                         | 0                         | 0              | 72     |
| 58a          | 0                      | 24                     | 0                               | 5                         | 0                         | 0                      | 1                             | 0                               | 2                              | 0                       | 0                           | 0                     | 0                        | 0                        | 0                           | 0                          | 0                         | 0                         | 0              | 32     |
| 59a          | 0                      | 65                     | 0                               | 2                         | 0                         | 0                      | 0                             | 0                               | 3                              | 0                       | 0                           | 0                     | 0                        | 0                        | 0                           | 0                          | 0                         | 0                         | 0              | 70     |
| 60a          | 0                      | 2                      | 0                               | 13                        | 0                         | 0                      | 0                             | 0                               | 0                              | 0                       | 0                           | 0                     | 0                        | 0                        | 0                           | 0                          | 0                         | 0                         | 0              | 15     |
| 61a          | 0                      | 24                     | 0                               | 7                         | 0                         | 0                      | 0                             | 0                               | 0                              | 0                       | 0                           | 0                     | 0                        | 0                        | 0                           | 0                          | 0                         | 0                         | 0              | 31     |
| 62a          | 0                      | 0                      | 0                               | 1                         | 0                         | 0                      | 0                             | 0                               | 1                              | 0                       | 4                           | 0                     | 0                        | 0                        | 0                           | 0                          | 0                         | 0                         | 0              | 6      |
| 63a          | 0                      | 4                      | 0                               | 0                         | 0                         | 0                      | 0                             | 0                               | 15                             | 0                       | 14                          | 0                     | 0                        | 0                        | 0                           | 0                          | 0                         | 0                         | 0              | 33     |
| 64a          | 0                      | 0                      | 0                               | 0                         | 0                         | 0                      | 0                             | 0                               | 3                              | 0                       | 0                           | 0                     | 0                        | 0                        | 0                           | 0                          | 0                         | 0                         | 1              | 4      |
| 65a          | 0                      | 1                      | 0                               | 0                         | 0                         | 0                      | 0                             | 0                               | 6                              | 0                       | 0                           | 0                     | 0                        | 0                        | 0                           | 0                          | 0                         | 0                         | 0              | 7      |
| 66a          | 1                      | 3                      | 0                               | 0                         | 0                         | 0                      | 1                             | 0                               | 9                              | 0                       | 0                           | 0                     | 0                        | 0                        | 0                           | 0                          | 0                         | 0                         | 0              | 14     |
| 67a          | 0                      | 0                      | 0                               | 0                         | 0                         | 0                      | 0                             | 0                               | 2                              | 0                       | 0                           | 0                     | 0                        | 0                        | 0                           | 0                          | 0                         | 0                         | 0              | 2      |
| 68a          | 0                      | 0                      | 0                               | 0                         | 0                         | 0                      | 0                             | 0                               | 11                             | 0                       | 1                           | 0                     | 2                        | 0                        | 0                           | 0                          | 0                         | 0                         | 0              | 14     |
| 69a          | 0                      | 0                      | 0                               | 0                         | 1                         | 0                      | 0                             | 0                               | 8                              | 0                       | 0                           | 0                     | 12                       | 0                        | 0                           | 0                          | 0                         | 0                         | 0              | 21     |
| 70a          | 0                      | 1                      | 0                               | 1                         | 0                         | 0                      | 0                             | 0                               | 37                             | 0                       | 0                           | 1                     | 11                       | 0                        | 0                           | 0                          | 0                         | 0                         | 1              | 52     |

| Probennummer | <i>Dicyrtoma fusca</i> | <i>Entomobrya juv.</i> | <i>Entomobrya multifasciata</i> | <i>Entomobrya nivalis</i> | <i>Folsomia fimetaria</i> | <i>Isotomidae juv.</i> | <i>Isotoma viridis</i> Gruppe | <i>Lepidocyrtus lanuginosus</i> | <i>Mesaphorura macrochaeta</i> | <i>Oncopodura spec.</i> | <i>Parisotoma notabilis</i> | <i>Poduridae juv.</i> | <i>Proisotoma minuta</i> | <i>Protaphorura juv.</i> | <i>Pseudachorutes spec.</i> | <i>Sminthurinus aureus</i> | <i>Sminthurus viridis</i> | <i>Sphaeridia pumilis</i> | <i>Xenylla</i> | gesamt |
|--------------|------------------------|------------------------|---------------------------------|---------------------------|---------------------------|------------------------|-------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|-------------------------|-----------------------------|-----------------------|--------------------------|--------------------------|-----------------------------|----------------------------|---------------------------|---------------------------|----------------|--------|
| 71a          | 1                      | 0                      | 0                               | 0                         | 0                         | 0                      | 1                             | 0                               | 3                              | 0                       | 0                           | 0                     | 0                        | 0                        | 0                           | 0                          | 0                         | 0                         | 0              | 5      |
| 72a          | 0                      | 0                      | 0                               | 0                         | 0                         | 0                      | 1                             | 0                               | 18                             | 0                       | 0                           | 1                     | 18                       | 0                        | 0                           | 0                          | 0                         | 1                         | 0              | 39     |
| 73a          | 0                      | 0                      | 0                               | 0                         | 0                         | 0                      | 0                             | 0                               | 0                              | 0                       | 0                           | 0                     | 4                        | 0                        | 1                           | 0                          | 0                         | 1                         | 0              | 6      |
| 74a          | 0                      | 0                      | 0                               | 0                         | 0                         | 0                      | 0                             | 0                               | 0                              | 0                       | 0                           | 0                     | 2                        | 0                        | 0                           | 0                          | 0                         | 0                         | 0              | 2      |
| 75a          | 0                      | 0                      | 0                               | 0                         | 0                         | 0                      | 0                             | 0                               | 1                              | 0                       | 0                           | 0                     | 4                        | 0                        | 2                           | 0                          | 0                         | 0                         | 0              | 7      |
| 76a          | 1                      | 0                      | 0                               | 0                         | 0                         | 0                      | 0                             | 0                               | 3                              | 0                       | 0                           | 0                     | 10                       | 0                        | 0                           | 0                          | 0                         | 0                         | 0              | 14     |
| 77a          | 0                      | 0                      | 0                               | 0                         | 0                         | 0                      | 0                             | 0                               | 15                             | 0                       | 0                           | 0                     | 22                       | 0                        | 0                           | 0                          | 0                         | 0                         | 1              | 38     |
| 78a          | 0                      | 0                      | 0                               | 0                         | 0                         | 0                      | 0                             | 0                               | 0                              | 0                       | 0                           | 0                     | 2                        | 0                        | 0                           | 0                          | 0                         | 0                         | 1              | 3      |
| 79a          | 0                      | 0                      | 0                               | 0                         | 0                         | 0                      | 0                             | 0                               | 3                              | 0                       | 0                           | 0                     | 0                        | 0                        | 0                           | 0                          | 0                         | 2                         | 0              | 5      |
| 80a          | 0                      | 0                      | 0                               | 0                         | 0                         | 0                      | 0                             | 0                               | 5                              | 0                       | 0                           | 0                     | 4                        | 0                        | 0                           | 0                          | 0                         | 1                         | 0              | 10     |
| 81a          | 0                      | 1                      | 0                               | 0                         | 0                         | 0                      | 0                             | 0                               | 0                              | 0                       | 0                           | 0                     | 0                        | 0                        | 0                           | 0                          | 0                         | 0                         | 0              | 1      |
| 82a          | 0                      | 4                      | 0                               | 0                         | 0                         | 0                      | 0                             | 0                               | 23                             | 0                       | 0                           | 0                     | 7                        | 0                        | 0                           | 0                          | 0                         | 0                         | 1              | 35     |
| 83a          | 0                      | 0                      | 0                               | 1                         | 0                         | 0                      | 1                             | 0                               | 11                             | 0                       | 0                           | 0                     | 1                        | 0                        | 0                           | 0                          | 0                         | 0                         | 1              | 15     |
| 84a          | 0                      | 3                      | 0                               | 0                         | 0                         | 1                      | 7                             | 0                               | 732                            | 0                       | 42                          | 0                     | 7                        | 0                        | 0                           | 0                          | 0                         | 4                         | 1              | 797    |
| 85a          | 0                      | 1                      | 0                               | 0                         | 0                         | 0                      | 2                             | 0                               | 260                            | 0                       | 15                          | 0                     | 6                        | 0                        | 0                           | 0                          | 0                         | 0                         | 0              | 284    |
| 86a          | 0                      | 4                      | 2                               | 0                         | 0                         | 0                      | 10                            | 0                               | 7                              | 0                       | 12                          | 1                     | 1                        | 0                        | 0                           | 0                          | 0                         | 0                         | 2              | 39     |
| 87a          | 0                      | 4                      | 0                               | 0                         | 0                         | 0                      | 6                             | 0                               | 3                              | 0                       | 16                          | 0                     | 1                        | 0                        | 0                           | 0                          | 0                         | 1                         | 0              | 31     |
| 88a          | 0                      | 1                      | 0                               | 0                         | 0                         | 0                      | 4                             | 0                               | 0                              | 0                       | 0                           | 0                     | 5                        | 0                        | 0                           | 0                          | 0                         | 0                         | 2              | 12     |
| 89a          | 0                      | 1                      | 0                               | 0                         | 0                         | 0                      | 19                            | 0                               | 2                              | 0                       | 0                           | 0                     | 7                        | 0                        | 0                           | 0                          | 0                         | 0                         | 0              | 29     |
| 90a          | 0                      | 0                      | 0                               | 0                         | 0                         | 0                      | 0                             | 0                               | 3                              | 0                       | 0                           | 0                     | 2                        | 0                        | 0                           | 0                          | 0                         | 0                         | 0              | 5      |
| 91a          | 0                      | 1                      | 0                               | 0                         | 0                         | 0                      | 2                             | 0                               | 672                            | 0                       | 0                           | 1                     | 2                        | 0                        | 0                           | 0                          | 0                         | 0                         | 1              | 679    |
| 92a          | 0                      | 2                      | 0                               | 1                         | 0                         | 0                      | 4                             | 0                               | 81                             | 0                       | 0                           | 1                     | 1                        | 0                        | 0                           | 0                          | 0                         | 0                         | 12             | 102    |
| 93a          | 0                      | 13                     | 0                               | 0                         | 0                         | 0                      | 0                             | 0                               | 62                             | 0                       | 36                          | 1                     | 10                       | 0                        | 0                           | 0                          | 0                         | 0                         | 5              | 127    |
| 94a          | 0                      | 0                      | 0                               | 0                         | 0                         | 0                      | 0                             | 0                               | 4                              | 0                       | 0                           | 0                     | 2                        | 0                        | 0                           | 0                          | 0                         | 0                         | 0              | 6      |
| 95a          | 0                      | 6                      | 0                               | 0                         | 0                         | 0                      | 0                             | 0                               | 62                             | 0                       | 0                           | 1                     | 0                        | 0                        | 0                           | 0                          | 0                         | 0                         | 0              | 69     |
| 96a          | 0                      | 10                     | 0                               | 0                         | 0                         | 0                      | 0                             | 0                               | 4                              | 0                       | 0                           | 0                     | 0                        | 0                        | 0                           | 0                          | 0                         | 0                         | 0              | 14     |
| 97a          | 0                      | 2                      | 0                               | 0                         | 0                         | 0                      | 0                             | 0                               | 88                             | 0                       | 0                           | 0                     | 0                        | 0                        | 0                           | 0                          | 0                         | 0                         | 2              | 92     |
| 98a          | 0                      | 3                      | 0                               | 0                         | 0                         | 0                      | 0                             | 0                               | 148                            | 0                       | 0                           | 1                     | 0                        | 0                        | 0                           | 1                          | 0                         | 0                         | 3              | 156    |
| 99a          | 0                      | 0                      | 0                               | 0                         | 0                         | 0                      | 0                             | 0                               | 63                             | 0                       | 0                           | 0                     | 0                        | 0                        | 0                           | 0                          | 0                         | 0                         | 0              | 63     |
| 100a         | 1                      | 0                      | 0                               | 0                         | 0                         | 1                      | 0                             | 0                               | 67                             | 0                       | 0                           | 1                     | 0                        | 0                        | 0                           | 0                          | 0                         | 0                         | 1              | 71     |
| 101a         | 0                      | 0                      | 0                               | 0                         | 0                         | 0                      | 0                             | 0                               | 0                              | 0                       | 0                           | 0                     | 0                        | 0                        | 0                           | 0                          | 0                         | 0                         | 0              | 0      |
| 102a         | 0                      | 0                      | 0                               | 0                         | 0                         | 1                      | 0                             | 0                               | 64                             | 0                       | 0                           | 0                     | 0                        | 0                        | 0                           | 0                          | 0                         | 0                         | 0              | 65     |
| 103a         | 0                      | 0                      | 0                               | 0                         | 0                         | 0                      | 0                             | 0                               | 0                              | 0                       | 0                           | 0                     | 0                        | 0                        | 0                           | 0                          | 0                         | 0                         | 0              | 0      |
| 104a         | 0                      | 0                      | 0                               | 0                         | 0                         | 0                      | 0                             | 0                               | 18                             | 0                       | 0                           | 0                     | 1                        | 0                        | 0                           | 0                          | 0                         | 0                         | 1              | 20     |
| 105a         | 1                      | 1                      | 0                               | 2                         | 0                         | 0                      | 0                             | 0                               | 22                             | 0                       | 0                           | 0                     | 0                        | 0                        | 0                           | 0                          | 0                         | 0                         | 1              | 27     |

| Probennummer | <i>Dicyrtoma fusca</i> | <i>Entomobrya juv.</i> | <i>Entomobrya multifasciata</i> | <i>Entomobrya nivalis</i> | <i>Folsomia fimetaria</i> | <i>Isotomidae juv.</i> | <i>Isotoma viridis</i> Gruppe | <i>Lepidocyrtus lanuginosus</i> | <i>Mesaphorura macrochaeta</i> | <i>Oncopodura spec.</i> | <i>Parisotoma notabilis</i> | <i>Poduridae juv.</i> | <i>Proisotoma minuta</i> | <i>Protaphorura juv.</i> | <i>Pseudachorutes spec.</i> | <i>Sminthurinus aureus</i> | <i>Sminthurus viridis</i> | <i>Sphaeridia pumilis</i> | <i>Xenylla</i> | gesamt |
|--------------|------------------------|------------------------|---------------------------------|---------------------------|---------------------------|------------------------|-------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|-------------------------|-----------------------------|-----------------------|--------------------------|--------------------------|-----------------------------|----------------------------|---------------------------|---------------------------|----------------|--------|
| 106a         | 0                      | 3                      | 0                               | 0                         | 0                         | 0                      | 0                             | 0                               | 232                            | 0                       | 1                           | 0                     | 3                        | 0                        | 0                           | 0                          | 0                         | 0                         | 0              | 239    |
| 107a         | 0                      | 2                      | 0                               | 0                         | 0                         | 0                      | 0                             | 0                               | 11                             | 0                       | 0                           | 1                     | 0                        | 0                        | 0                           | 0                          | 0                         | 0                         | 0              | 14     |
| 108a         | 0                      | 0                      | 0                               | 0                         | 0                         | 0                      | 0                             | 0                               | 154                            | 0                       | 0                           | 0                     | 0                        | 0                        | 0                           | 1                          | 0                         | 0                         | 3              | 158    |
| 109a         | 1                      | 14                     | 0                               | 0                         | 0                         | 0                      | 0                             | 0                               | 44                             | 0                       | 0                           | 0                     | 0                        | 0                        | 0                           | 0                          | 0                         | 3                         | 1              | 63     |
| 110a         | 0                      | 1                      | 0                               | 0                         | 0                         | 0                      | 0                             | 0                               | 14                             | 0                       | 0                           | 0                     | 0                        | 0                        | 0                           | 0                          | 0                         | 0                         | 3              | 18     |
| 111a         | 0                      | 0                      | 0                               | 0                         | 0                         | 0                      | 0                             | 0                               | 15                             | 0                       | 0                           | 0                     | 0                        | 0                        | 0                           | 0                          | 0                         | 0                         | 2              | 17     |
| 112a         | 1                      | 0                      | 0                               | 0                         | 0                         | 0                      | 0                             | 0                               | 20                             | 0                       | 0                           | 0                     | 0                        | 0                        | 0                           | 0                          | 0                         | 0                         | 1              | 22     |
| 113a         | 0                      | 0                      | 0                               | 0                         | 0                         | 2                      | 0                             | 0                               | 23                             | 0                       | 0                           | 0                     | 0                        | 0                        | 0                           | 0                          | 0                         | 0                         | 0              | 25     |
| 114a         | 0                      | 0                      | 0                               | 0                         | 0                         | 0                      | 0                             | 0                               | 121                            | 0                       | 0                           | 0                     | 0                        | 0                        | 0                           | 0                          | 0                         | 0                         | 0              | 121    |
| 115a         | 0                      | 0                      | 0                               | 0                         | 0                         | 0                      | 0                             | 0                               | 4                              | 0                       | 0                           | 0                     | 0                        | 0                        | 0                           | 0                          | 0                         | 0                         | 0              | 4      |
| 116a         | 0                      | 1                      | 0                               | 0                         | 0                         | 0                      | 0                             | 0                               | 74                             | 0                       | 0                           | 0                     | 0                        | 0                        | 0                           | 0                          | 0                         | 0                         | 0              | 75     |
| 117a         | 0                      | 0                      | 0                               | 0                         | 0                         | 0                      | 0                             | 0                               | 0                              | 0                       | 0                           | 0                     | 0                        | 0                        | 0                           | 0                          | 0                         | 0                         | 0              | 0      |
| 118a         | 0                      | 0                      | 0                               | 0                         | 0                         | 0                      | 0                             | 0                               | 1                              | 0                       | 0                           | 0                     | 1                        | 0                        | 0                           | 0                          | 0                         | 0                         | 3              | 5      |
| 119a         | 0                      | 0                      | 0                               | 0                         | 0                         | 0                      | 0                             | 0                               | 18                             | 0                       | 0                           | 0                     | 0                        | 0                        | 0                           | 0                          | 0                         | 0                         | 0              | 18     |
| 120a         | 0                      | 0                      | 0                               | 0                         | 0                         | 0                      | 0                             | 0                               | 21                             | 0                       | 0                           | 0                     | 0                        | 0                        | 0                           | 0                          | 0                         | 0                         | 0              | 21     |
| 121a         | 0                      | 0                      | 0                               | 0                         | 0                         | 0                      | 0                             | 0                               | 0                              | 0                       | 0                           | 0                     | 0                        | 0                        | 0                           | 0                          | 0                         | 0                         | 0              | 0      |
| 122a         | 0                      | 0                      | 0                               | 0                         | 0                         | 0                      | 0                             | 0                               | 40                             | 0                       | 0                           | 0                     | 0                        | 0                        | 0                           | 0                          | 0                         | 0                         | 2              | 42     |

**Tab. 15: SPSS-Tabellen zum Zusammenleben der Arten**

| Artenzusammenleben im 1. Durchgang                              | Wie oft kommen sie zusammen vor von 61 Proben  | Vorkommen 1. Art alleine | Vorkommen 2. Art alleine | Phi-Wert | Signifikanz |
|---|--|--------------------------|--------------------------|----------|-------------|
| <i>Entomobrya nivalis</i> X <i>Entomobrya</i> juv.              | 36   | 3                        | 13                       | ,401     | ,002        |
| <i>Parisotoma notabilis</i> X <i>Lepidocyrtus lanuginosus</i>   | 16   | 8                        | 3                        | ,618     | ,000        |
| <i>Isotoma viridis</i> Gruppe X <i>Entomobrya multifasciata</i> | 9  | 9                        | 7                        | ,350     | ,006        |
| <i>Sminthurinus aureus</i> X <i>Lepidocyrtus lanuginosus</i>    | 4  | 0                        | 15                       | ,394     | ,002        |
| <i>Sminthurinus aureus</i> X <i>Parisotoma notabilis</i>        | 4  | 0                        | 20                       | ,329     | ,010        |
| <i>Protaphorura</i> juv. X <i>Lepidocyrtus lanuginosus</i>      | 3  | 0                        | 16                       | ,338     | ,008        |
| <i>Sminthurinus aureus</i> X <i>Poduridae</i> juv.              | 2  | 2                        | 3                        | ,404     | ,002        |
| <i>Sminthurinus aureus</i> X <i>Oncopodura spec.</i>            | 1  | 3                        | 1                        | ,323     | ,012        |
| Artenzusammenleben im 2. Durchgang                              | Wie oft kommen sie zusammen vor von 61 Proben  | Vorkommen 1. Art alleine | Vorkommen 2. Art alleine | Phi-Wert | Signifikanz |
| <i>Proisotoma minuta</i> X <i>Isotoma viridis</i> Gruppe        | 10   | 17                       | 2                        | ,389     | ,002        |
| <i>Isotoma viridis</i> Gruppe X <i>Entomobrya</i> juv.          | 9  | 3                        | 16                       | ,342     | ,008        |
| <i>Poduridae</i> juv. X <i>Entomobrya</i> juv.                  | 8  | 2                        | 17                       | ,351     | ,006        |
| <i>Parisotoma notabilis</i> X <i>Entomobrya</i> juv.            | 7  | 2                        | 18                       | ,311     | ,015        |
| <i>Parisotoma notabilis</i> X <i>Entomobrya multifasciata</i>   | 1  | 8                        | 0                        | ,310     | ,015        |
| Artenzusammenleben im gesamten Durchgang                        | Wie oft kommen sie zusammen vor von 122 Proben | Vorkommen 1. Art alleine | Vorkommen 2. Art alleine | Phi-Wert | Signifikanz |
| <i>Entomobrya nivalis</i> X <i>Entomobrya</i> juv.              | 39   | 5                        | 35                       | ,430     | ,000        |
| <i>Parisotoma notabilis</i> X <i>Entomobrya</i> juv.            | 29   | 4                        | 45                       | ,339     | ,000        |
| <i>Lepidocyrtus lanuginosus</i> X <i>Entomobrya</i> juv.        | 18   | 1                        | 56                       | ,300     | ,001        |
| <i>Parisotoma notabilis</i> X <i>Lepidocyrtus lanuginosus</i>   | 16   | 17                       | 3                        | ,553     | ,000        |
| <i>Lepidocyrtus lanuginosus</i> X <i>Entomobrya nivalis</i>     | 14   | 5                        | 30                       | ,336     | ,000        |
| <i>Xenylla maritima</i> X <i>Proisotoma minuta</i>              | 13   | 11                       | 17                       | ,340     | ,000        |
| <i>Isotoma viridis</i> Gruppe X <i>Entomobrya multifasciata</i> | 10   | 20                       | 7                        | ,320     | ,000        |
| <i>Sminthurinus aureus</i> X <i>Lepidocyrtus lanuginosus</i>    | 4  | 2                        | 15                       | ,320     | ,000        |
| <i>Protaphorura</i> juv. X <i>Lepidocyrtus lanuginosus</i>      | 3  | 0                        | 16                       | ,370     | ,000        |
| <i>Oncopodura spec.</i> X <i>Lepidocyrtus lanuginosus</i>       | 2  | 0                        | 17                       | ,301     | ,001        |

## Tabellenindex

|  |     |
|--|-----|
| Tab. 1: Zeigerwerte der aufgenommenen Vegetation .....   | 31  |
| Tab. 2: Dominanzwerte der Arten des Gesamttransektes 1a – 122a .....                             | 68  |
| Tab. 3: Dominanzwerte der Arten des 1. Transektes 1a – 61a.....                                  | 69  |
| Tab. 4: Dominanzwerte der Arten des 2. Transektes 62a – 122a .....                               | 71  |
| Tab. 5: durchschnittliche pH-Werte der Arten im Gesamttransekt (pH mit CaCl <sub>2</sub> ) ..... | 74  |
| Tab. 6: durchschnittliche Leitfähigkeiten der Arten im Gesamttransekt .....                      | 75  |
| Tab. 7: durchschnittliche Wasserhaltekapazitäten der Arten im Gesamttransekt .....               | 76  |
| Tab. 8: durchschnittliche Humusgehalte der Arten im Gesamttransekt .....                         | 77  |
| Tab. 9: durchschnittliche Ammoniumgehalte der Arten im Gesamttransekt .....                      | 78  |
| Tab. 10: durchschnittliche Phosphorgehalte der Arten im Gesamttransekt .....                     | 79  |
| Tab. 11: Standartabweichungen für die Bodenparameter .....                                       | 98  |
| Tab. 12: Bodenparameter des Gesamttransektes Teil 1 .....  | 98  |
| Tab. 13: Bodenparameter des Gesamttransektes Teil 2 .....  | 102 |
| Tab. 14: Individuenanzahl der einzelnen Vertreter .....  | 105 |
| Tab. 15: SPSS-Tabellen zum Zusammenleben der Arten.....  | 109 |

## Abbildungsverzeichnis

|  |    |
|--|----|
| Abb. 1: ehemaliges Tagebaugelände von Schlabendorf mit Beprobungsstandort.....                             | 7  |
| Abb. 2: Probenahmedesign .....   | 8  |
| Abb. 3: pH-Wert-Diagramm mit CaCl <sub>2</sub> vom gesamten Transekt .....                                 | 20 |
| Abb. 4: pH-Wert-Diagramm mit VE-Wasser vom gesamten Transekt .....   | 21 |
| Abb. 5: Kalkgehalt-Diagramm vom gesamten Transekt.....   | 22 |
| Abb. 6: Wassergehalt-Diagramm vom 1. Transekt.....   | 23 |
| Abb. 7: Wassergehalt-Diagramm vom 2. Transekt.....   | 24 |
| Abb. 8: Diagramm der max. Wasserhaltekapazität vom gesamten Transekt.....                                  | 25 |
| Abb. 9: Humusgehalt-Diagramm vom gesamten Transekt.....  | 26 |
| Abb. 10: Nitrat-Diagramm vom gesamten Transekt.....  | 26 |
| Abb. 11: Ammonium-Diagramm vom gesamten Transekt.....  | 27 |
| Abb. 12: Phosphor-Diagramm vom gesamten Transekt .....   | 28 |
| Abb. 13: Leitfähigkeits-Diagramm vom gesamten Transekt .....   | 29 |
| Abb. 14: Diagramm der Individuendichte von <i>Dicyrtoma fusca</i> .....                                    | 32 |
| Abb. 15: Diagramm der Individuendichte von <i>Entomobrya juv.</i> .....                                    | 33 |
| Abb. 16: Diagramm der Individuendichte von <i>Entomobrya multifasciata</i> .....                           | 34 |
| Abb. 17: Diagramm der Individuendichte von <i>Entomobrya nivalis</i> .....                                 | 34 |
| Abb. 18: Diagramm der Individuendichte von <i>Folsomia fimetaria</i> .....                                 | 35 |
| Abb. 19: Diagramm der Individuendichte von <i>Isotomidae juv.</i> .....                                    | 36 |
| Abb. 20: Diagramm der Individuendichte von <i>Isotoma viridis</i> Gruppe .....                             | 36 |
| Abb. 21: Diagramm der Individuendichte von <i>Lepidocyrtus lanuginosus</i> .....                           | 37 |
| Abb. 22: Diagramm der Individuendichte von <i>Mesaphorura macrochaeta</i> .....                            | 38 |
| Abb. 23: Diagramm der Individuendichte von <i>Oncopodura spec.</i> .....                                   | 38 |
| Abb. 24: Diagramm der Individuendichte von <i>Parisotoma notabilis</i> .....                               | 39 |
| Abb. 25: Diagramm der Individuendichte von <i>Poduridae juv.</i> .....                                     | 40 |
| Abb. 26: Diagramm der Individuendichte von <i>Proisotoma minuta</i> .....                                  | 40 |
| Abb. 27: Diagramm der Individuendichte von <i>Protaphorura juv.</i> .....                                  | 41 |
| Abb. 28: Diagramm der Individuendichte von <i>Pseudachorutes spec.</i> .....                               | 42 |
| Abb. 29: Diagramm der Individuendichte von <i>Sminthurinus aureus</i> .....                                | 42 |
| Abb. 30: Diagramm der Individuendichte von <i>Sminthurus viridis</i> .....                                 | 43 |
| Abb. 31: Diagramm der Individuendichte von <i>Sphaeridia pumilis</i> .....                                 | 44 |
| Abb. 32: Diagramm der Individuendichte von <i>Xenylla maritima</i> .....                                   | 44 |
| Abb. 33: Diagramm der Säurebetrachtung.....  | 51 |
| Abb. 34: Diagramm der Feuchtigkeitsbetrachtung .....   | 52 |
| Abb. 35: Diagramm der Stickstoffbetrachtung 1 .....  | 53 |
| Abb. 36: Diagramm der Stickstoffbetrachtung 2 .....  | 53 |
| Abb. 37: Dominanzprozentwerte des 1. Transektes.....   | 69 |
| Abb. 38: Dominanzprozentwerte des 2. Transektes.....   | 71 |
| Abb. 39: Dominanzprozentwerte des gesamten Transektes.....   | 73 |
| Abb. 40: pH-Diagramm aus KRAWCZYNSKI (2007), Transekt 2 in rot .....                                       | 81 |
| Abb. 41: pH-Diagramm, Ausschnitt aus dem gesamten Transekt (28a-87a).....                                  | 82 |
| Abb. 42: Diagramm epigäischer Collembolen in T2 (KRAWCZYNSKI 2007).....                                    | 83 |
| Abb. 43: Diagramm der epigäischen Collembolen des Vergleichstransektes.....                                | 85 |
| Abb. 44: Diagramm zum Vergleich der epigäischen Arten von T2 und des<br>Vergleichstransektes .....         | 86 |
| Abb. 45: Diagramm zum Vergleich epigäischer Individuendichten von T2 und des<br>Vergleichstransektes ..... | 87 |
| Abb. 46: Diagramm der endogäischen Collembolen in T2 (verändert nach KRAWCZYNSKI,<br>2007) .....           | 87 |

|   |    |
|---|----|
| Abb. 47: Diagramm der endogäischen Collembolen des Vergleichstransektes.....                                | 89 |
| Abb. 48: Diagramm zum Vergleich der endogäischen Arten von T2 und des<br>Vergleichstransektes .....         | 90 |
| Abb. 49: Diagramm zum Vergleich endogäischer Individuendichten von T2 und des<br>Vergleichstransektes ..... | 90 |